

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA ELECTRIFICACIÓN,
CLIMATIZACIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA
VIVIENDA URBANA**

PRESENTADO POR:

Br. MARIO TONY PRADA ROZAS

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

ASESOR:

ING. PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

CUSCO - PERÚ

2024



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR PARA ELECTRIFICACIÓN, CLIMATIZACIÓN Y CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA VIVIENDA URBANA

Presentado por: MARIO TONY PRADA ROZAS DNI N° 41078297
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de Agosto de 2026

Firma

Post firma PERCY MIGUEL RUEDA PUELLES

Nro. de DNI 23852830

ORCID del Asesor 0000-0001-8141-4405

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:614975531?locale=es-MX

TESIS FINAL AGOSTO - EDITABLE.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:614975531

Fecha de entrega

17 ago 2026, 1:35 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 ago 2026, 1:41 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL AGOSTO - EDITABLE.pdf

Tamaño del archivo

3.1 MB

172 páginas

50.339 palabras

224.759 caracteres

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo tiene por finalidad exponer una alternativa de solución a un problema real de la ingeniería mecánica en el área de las energías renovables y específicamente de la energía solar, en el cual a partir del diseño y la implementación de un sistema fotovoltaico y termosolar, se vio la necesidad de ahondar en el conocimiento ensayando el máximo aprovechamiento posible de la energía solar como alternativa energética en una vivienda familiar urbana, en reemplazo parcial o total de las energías convencionales de uso común tales como la energía eléctrica y el gas para uso doméstico. Se pretende que dicho estudio sirva de referencia para posibles aplicaciones posteriores en viviendas familiares o recintos institucionales de la ciudad del Cusco.

El sistema fotovoltaico y termosolar implementado en una vivienda familiar urbana es financiado y realizado con fondos propios por parte de los integrantes de la familia quienes tuvieron el interés de invertir y colaborar con esta investigación. El trabajo desarrollado está ubicado en la ciudad del Cusco en Perú a 3300 msnm donde dichos parámetros geográficos y meteorológicos tendrán influencia directa en el funcionamiento del sistema en particular por lo que se debe tomar en cuenta estas variables a la hora de comparar o aplicar otros sistemas similares. Estudiar la interacción de los niveles de radiación solar con los elementos que componen al sistema, para la generación de energía utilizable, es de relevancia para el desarrollo de las energías renovables en la ciudad.

En los capítulos sucesivos se expone el proceso que se llevó a cabo para diseñar e implementar un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana, de una manera ordenada y secuencial tal como sigue: En el Capítulo I introducción e información general, así como la metodología empleada y datos meteorológicos y geográficos. El Capítulo II corresponde al Marco Teórico donde engloba toda la teoría referida a energía y radiación solar, normativa, sistemas fotovoltaicos y termosolares. Capítulo III Electrificación, Dimensionamiento del sistema, sistema de transmisión de datos. Capítulo IV Climatización, Carga térmica, proceso de calentamiento y humidificación del aire. Capítulo V Calentamiento de agua sanitaria. Capítulo VI Evaluación Económica. Capítulo VII Conclusiones y recomendaciones.

DEDICATORIA

A mis padres Mario Prada Bravo y Brígida Rozas Díaz por ser a quienes les debo la vida y por haber inculcado en mí el deseo de superación y arduo trabajo, así como siempre haber guiado mi destino en cada etapa de mi vida, a ellos con el más profundo amor y gratitud eterna.

A mi amado hijo Nikola, mi auténtica y genuina motivación por el que cada día me esmero en seguir labrando la mejor versión de mí ser, y con esto poder encamínarlo siempre por la senda del bien y de lo mejor.

A mis hermanos Shirley y Oscar por haberme apoyado siempre denodadamente y de manera incondicional con cada una de sus acciones; estando ellos presentes en la prosperidad y en la adversidad, juntos superando obstáculos como una verdadera familia.

Para mis entrañables compañeros que en vida fueron Kimbo, Dórotí y mi Gorda, quienes con su cálida compañía supieron motivarme mientras tuve la dicha de compartir etapas imborrables de mi vida junto a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Mi especial agradecimiento a todos los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica por el conocimiento brindado en los años mozos de mi vida universitaria y por compartir cátedras de gran nivel que forjaron en mi al motivado estudiante que desde muy joven consiguió desempeñar la carrera en diferentes empresas de diferentes regiones del país.

Mención aparte, especial agradecimiento a mi asesor de tesis el Ing. Percy Miguel Rueda Puelles por el tiempo brindado y su amplio conocimiento en el tema para la realización de este trabajo, mi eterno agradecimiento.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata sobre el aprovechamiento de la energía solar para satisfacer la demanda energética de una vivienda familiar en la ciudad del Cusco,

El objetivo es diseñar e implementar un sistema que sea capaz de aprovechar la energía solar y transformarla en electricidad y en energía térmica la misma que sirva para sustituir total o parcialmente la demanda energética de una vivienda familiar urbana, con la cual se logre el funcionamiento adecuado de los aparatos eléctricos y electrónicos y a su vez sirva para el calentamiento de agua sanitaria, permitiendo así evaluar la rentabilidad del sistema en el tiempo.

El trabajo considera, para la electrificación, la implementación de un sistema fotovoltaico o sistema de generación eléctrica, el cual se compone de seis paneles solares, un inversor de corriente que se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna de 220V para ser inyectada a la vivienda; también considera un sistema de acumulación de energía o baterías de respaldo. Junto a otros accesorios estructurales y eléctricos. Por su parte el sistema de climatización consta de un humidificador y de un calefactor los mismos que hace uso de la energía eléctrica generada. Para el calentamiento de agua se considera una terma o calentador solar la misma que inyectará agua caliente a los servicios higiénicos y a las cocinas de la vivienda en mención.

Palabras Clave: Sistema Fotovoltaico, Sistema Termosolar, Acumuladores de Energía, Inversor de Corriente, Energía Solar.

ABSTRACT

This research work deals with the use of solar energy to satisfy the energy demand of a family home in the city of Cusco.

The objective is to design and implement a system that is capable of taking advantage of solar energy and transforming it into electricity and thermal energy, which serves to totally or partially replace the energy demand of an urban family home, with which proper functioning is achieved of electrical and electronic devices and in turn serves to heat domestic water, thus allowing the profitability of the system to be evaluated over time.

The work considers, for electrification, the implementation of a photovoltaic system or electrical generation system, which is composed about six photovoltaic panels to generate direct current, a current inverter that is responsible for converting the direct current coming from the panels into 220V alternating current to be injected into the House; also consider an energy accumulation system or backup batteries, along with other structural and electrical accessories. For its part, the air conditioning system consists of a humidifier and a heater, which make use of the electrical energy generated. For water heating, a thermal bath or solar heater is considered, which will inject hot water into the toilets and kitchens of the home in question.

Keywords: Photovoltaic System, Solar Thermal System, Energy Accumulators, Power Inverter, Solar Energy.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre el diseño y construcción de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana, la cual se aplicó en la ciudad del Cusco, Perú y se expone aquí toda la secuencia de trabajo desde la concepción de la necesidad hasta la aplicación de la misma, generando resultados de relevancia para posteriores investigaciones respecto al consumo energético, hábitos de consumo, perspectivas de aplicación, evaluación económica de la recuperación de la inversión en el tiempo, demostrar el potencial energético de la energía solar aprovechable en viviendas, comparativas entre consumos antes y después de la aplicación del sistema, incremento de artefactos eléctricos, percepción de incremento del confort generado en los usuarios de la vivienda, y todo ello como consecuencia del aprovechamiento de la energía solar para su uso en una vivienda urbana.

El trabajo se desarrolló con la intención de reducir costos y ampliar la oferta energética y con ello lograr la independización energética como consecuencia de percibir un costo elevado por concepto de la limitada cantidad de energía que durante muchos años era motivo de queja por parte de los usuarios de la vivienda, donde manifestaban que pese a los esfuerzos realizados por reducir el consumo de la energía eléctrica (apagar las luces de algunos ambientes, evitar el uso de artefactos de alto consumo, apagar la refrigeradora durante la noche) los costos mensuales se mantenían sin ninguna variación considerable. Incluso también se pudo evidenciar algunos reclamos difundidos en medios de comunicación local durante el periodo de la pandemia ocasionada por el COVID 19, en la que muchos usuarios manifestaban que aun habiendo deshabitado sus viviendas, y en consecuencia, sin haber hecho uso de la energía, seguían recibiendo sus recibos de energía eléctrica por parte de la empresa prestadora del servicio (Electro Sur Este) y con los mismos montos que habitualmente solían pagar mensualmente. De esta manera surge la necesidad de probar una nueva alternativa para así disponer de más energía para el uso de una mayor cantidad de artefactos sin que ello implique un sobre costo mensual por este concepto.

Para la realización de este trabajo, se tuvo que recurrir a la tecnología existente en el mercado, para implementar el sistema con elementos tales como los paneles fotovoltaicos y las termas solares las mismas que aprovechan la energía solar disponible; la primera para generar energía eléctrica y la segunda para calentar agua sanitaria, de tal

manera que sean capaces de inyectarse a la vivienda sin mayores cambios en las instalaciones eléctricas existentes para el normal funcionamiento de los aparatos eléctricos y electrónicos tradicionalmente domésticos y así mismo poder acceder al uso de agua caliente, que antes no se tenía, sin que ello tampoco implique cambios complicados en las instalaciones sanitarias ya existentes en la vivienda.

Por su misma naturaleza, este trabajo de investigación corresponde a una metodología cuantitativa toda vez que recurre al cálculo y a la aplicación de las leyes de la física tanto para la determinación de la demanda energética como para el dimensionamiento de sus componentes, en los cuales están involucrados aspectos tales como niveles de irradiación, irradiancia, horas de sol disponibles, potencia de los aparatos eléctricos, consumo energéticos, potencia de los paneles fotovoltaicos, capacidad de acumulación de energía de las baterías, potencia del inversor, capacidad de la terma solar, evaluación económica, entre otros.

Algunas de las limitaciones de este trabajo serían las de carácter meteorológico, climatológico, geográfico y económicos en vista de que la capacidad de generación del sistema se ven directamente afectada por los niveles de irradiación solar, temporadas en la región claramente demarcadas por un invierno y una primavera las mismas que difieren una de la otra en virtud de la presencia de lluvias o nubosidad, los cuales determinan una disponibilidad de horas de sol propias de la época siendo mayores en época de invierno y menores en época de primavera, los mismos que están determinados por aspectos geográficos de nuestra ciudad. Todos estos aspectos determinan directamente una mayor o menor cantidad de energía generada al día dependiendo de la temporada en la que se esté durante el año. Respecto al factor económico al ser de financiamiento propio tiene una inversión que se ajusta al ingreso familiar. Otro aspecto a tomarse en cuenta son los hábitos de consumo de energía que se tiene, los mismos que cambian al momento de utilizar energía solar, toda vez que el sistema tiene una capacidad limitada en contraste con la energía de la red de libre disponibilidad, lo que conlleva a modificar algunos de nuestros hábitos de consumo orientados al racionamiento de la energía con la finalidad de no saturar al sistema implementado.

INDICE

PRESENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
INDICE.....	viii
INDICE DE TABLAS	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvii
NOMENCLATURA Y SÍMBOLOS	xx
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS MEDIAS DEL LUGAR	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	6
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.6.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.7. HIPÓTESIS.....	7
1.8. VARIABLES	7
1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	7
1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE	7
1.9. ALCANCES Y LIMITACIONES	7
1.9.1. ALCANCES	7
1.9.2. LIMITACIONES	8
1.10. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO A REALIZAR	8
1.11. METODOLOGÍA	9
1.11.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	9
1.11.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	9

1.11.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	10
1.11.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	10
1.11.4.1. POBLACIÓN.....	10
1.11.4.2. MUESTRA	10
1.11.5. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS	11
1.12. ANTECEDENTES EN SISTEMAS CON ENERGÍA SOLAR.....	11
1.12.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	11
1.12.2. ANTECEDENTES NACIONALES	13
1.12.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	16
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. TEORÍA DE LA ENERGÍA SOLAR - BASES TEÓRICAS.....	18
2.1.1. RADIACIÓN E IRRADIACIÓN SOLAR	18
2.1.2 LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	19
2.2. CLASIFICACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR	20
2.2.1. IRRADIACIÓN DIRECTA.....	20
2.2.2. IRRADIACIÓN DIFUSA.....	20
2.2.3. IRRADIACIÓN REFLEJADA.....	20
2.2.4. IRRADIACIÓN SOLAR O IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL (H)	21
2.3. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO FOTOELÉCTRICO.....	22
2.3.1. IRRADIACIÓN FOTOVOLTAICA.	22
2.3.2. EFECTO FOTOELÉCTRICO O FOTOVOLTAICO	22
2.3.3. CÉLULAS FOTOELÉCTRICAS.	24
2.3.4. PANELES O MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.	25
2.3.4.1. PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS.	27
2.3.4.2. PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS.	28
2.3.4.3. PANELES FOTOVOLTAICOS AMORFOS.....	28
2.3.5. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.	28
2.3.5.1. INVERSOR DE CORRIENTE	28
2.3.5.2. BATERÍA O SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN	29
2.3.5.3. CONTROLADOR DE CORRIENTE.....	29
2.3.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS	30
2.3.6.1. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	30
2.3.6.1. CURVA POTENCIA-VOLTAJE EN UN PANEL FOTOVOLTAICO Y LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA	31

2.4. RACIONALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	32
2.4.1. RACIONALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA POR ILUMINACIÓN.....	33
2.5. CLIMATIZACIÓN AMBIENTAL	33
2.6. CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA	34
2.6.1. COLECTORES SOLARES DE TUBOS AL VACÍO.....	35
2.6.2. TANQUE ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....	36
2.7. FLUJO DE CALOR.....	37
2.7.1. CONDUCCIÓN LINEAL DEL CALOR.	37
2.7.2. RESISTIVIDAD TÉRMICA	37
2.7.3. CALOR ESPECÍFICO.....	38
CAPÍTULO III.....	39
ELECTRIFICACIÓN DE LA VIVIENDA	39
3.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA VIVIENDA.....	39
3.1.1. HISTÓRICO DE FACTURACIÓN POR ENERGÍA ELECTRICA EN LA VIVIENDA - ELECTRO SUR ESTE S.A.	39
3.1.2. APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS NORMALMENTE UTILIZADOS CON LA RED PÚBLICA.....	42
3.2. NECESIDADES ENERGÉTICAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE LA VIVIENDA	42
3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA FOTOVOLTAICO	44
3.3.1. CÁLCULO DE CANTIDAD DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE 260W	44
3.3.1.1. CAPACIDAD DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO Y EXCEDENTE DE ENERGÍA GENERADA.	45
3.3.1.2. INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	47
3.3.2. CÁLCULO DE CANTIDAD DE ACUMULADORES (BATERÍAS).	50
3.3.3. SELECCIÓN DEL INVERSOR - CARGADOR	53
3.3.3.1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE COBRE	54
3.3.3.2. CÁLCULO DE LLAVE TERMOMAGNÉTICA GENERAL.....	55
3.4. CANTIDAD DE APARATOS ELÉCTRICOS DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.	55
3.5. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS PARA MONITOREO Y REGISTRO DE PARÁMETROS DE CONSUMO Y GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	58
3.5.1. REGISTRO Y ALTA DE DATOS POR EL SISTEMA DE CONTROL RTU WIFI:	59
3.5.2. CURVA DE LA POTENCIA GENERADA RESPECTO AL TIEMPO EN KW	60
3.5.3. CURVA DE LA POTENCIA DE DEMANDA (CARGAS) RESPECTO AL TIEMPO EN KW.....	61
3.5.4. CURVAS DE POTENCIA GENERADA VS POTENCIA DE CARGA	62

3.5.5. GRÁFICA DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL SISTEMA DE GENERACIÓN..	63
3.5.6. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA JUNIO 2021	64
3.5.6.1. FALLAS DE REGISTRO DE DATOS DE ENERGÍA GENERADA DEL MES DE JUNIO DEL 2021	65
3.5.7. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA JULIO 2021	67
3.5.8. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA AGOSTO 2021	68
3.5.9. REPORTE ANUAL DE ENERGÍA GENERADA	69
3.6. PROCESO CONSTRUCTIVO SISTEMA FOTOVOLTAICO PANEL FOTOGRÁFICO .	69
3.6.1. OBRAS CIVILES, ESTRUCTURA, MONTAJE DE PANELES E INSTALACIONES ELÉCTRICAS	69
3.6.2. CONEXIONES ELECTRICAS, PRUEBAS Y MEDICIONES.....	71
CAPÍTULO IV.....	72
CLIMATIZACIÓN AMBIENTAL	72
4.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA VIVIENDA.	72
4.2. FACTORES MEDIO AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS DEL LUGAR DEL PROYECTO EN LA CIUDAD DEL CUSCO.	73
4.2.1. FACTORES MEDIO AMBIENTALES SOBRE LA HUMEDAD RELATIVA Y LA TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR	73
4.2.2. FACTORES GEOGRÁFICOS Y ASTRONÓMICOS	76
4.3. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA CONDICIONES DE CONFORT.....	77
4.4. VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA	78
4.4.1. ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE CON EL USO DE LA CARTA PSICROMÉTRICA.....	78
4.5. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE ..	84
4.5.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y ELEMENTOS DEL RECINTO A CLIMATIZAR.....	84
4.5.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE.....	86
4.5.1.2. DETALLE DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON BLOQUES DE ARCILLA DE 14 HUECOS.....	88
4.5.2. CÁLCULO DE ÁREAS DE LA ENVOLVENTE DEL RECINTO	89
4.5.3. CONFIGURACIONES DE LOS ELEMENTOS DE LOS MUROS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS HACIA EL EXTERIOR.....	93
4.5.3.1. CALCULO DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES.....	93
4.5.1.2. CÁLCULO DE RESISTENCIAS EQUIVALENTES SEGÚN SUS CONFIGURACIONES Y PERDIDAS DE CALOR.....	94
4.6. CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL NECESARIA	103

4.7. PRUEBA DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA CON SENSOR BME280.	104
4.8. PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LAS BATERÍAS PARA FUNCIONAMIENTO DEL AIRE ACONDICIONADO	105
CAPÍTULO V	106
CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA	106
5.1. ESTADO SITUACIONAL	106
5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA	106
5.2.1. SELECCIÓN DEL TERMOTANQUE O CALENTADOR SOLAR.....	106
5.2. PROCESO CONSTRUCTIVO SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA	109
5.2.1. PROCESO CONSTRUCTIVO INSTALACIÓN TANQUE Y LÍNEAS DE CONDUCCIÓN AGUA FRÍA	109
5.2.2 INSTALACIÓN DE CALENTADOR SOLAR	109
5.2.3. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE AGUA CALIENTE.....	110
5.2.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	110
CAPÍTULO VI.....	111
EVALUACIÓN ECONÓMICA	111
6.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN	111
6.2. DESAGREGADO DE AHORROS ANUALES.....	112
6.3. INCREMENTO DE LA TARIFA ELÉCTRICA – ELSE S.A.....	112
6.4. ANALISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO IMPLEMENTADO	114
6.4.1. GRÁFICA DE BARRAS ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	116
CAPITULO VII	117
7.1. CONCLUSIONES.	117
7.2. RECOMENDACIONES	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Plan de heladas y friaje años 2018</i>	3
Tabla 2 <i>Máxima demanda y energía eléctrica proyectada por comunidad</i>	14
Tabla 3 <i>Máxima irradiación solar en las cuatro comunidades</i>	14
Tabla 4 <i>Referencia de histórico de facturación hasta el año 2021</i>	39
Tabla 5 <i>Histórico de consumos mensuales de energía eléctrica de la vivienda</i> (Enero 2016 - Marzo 2017)	41
Tabla 6 <i>Artefactos electrodomésticos utilizados antes de la implementación del sistema fotovoltaico</i>	42
Tabla 7 <i>Demanda energética de las cargas de la vivienda</i>	43
Tabla 8 <i>Inclinación óptima de paneles</i>	49
Tabla 9 <i>Ampliación de artefactos electrodomésticos utilizados después de la implementación del sistema fotovoltaico</i>	56
Tabla 10 <i>Zonificación Bioclimática del Perú</i>	73
Tabla 11 <i>Valores de T_e, T_{e-max} y humedad relativa media (HR) por zona bioclimática</i>	74
Tabla 12 <i>Temperaturas más bajas en el horario de funcionamiento del sistema de calefacción 2015</i>	75
Tabla 13 <i>Valores de temperatura del ambiente interior por tipo de uso en edificaciones</i>	75
Tabla 14 <i>Coordenadas y parámetros para la ubicación del Cusco</i>	76
Tabla 15 <i>Promedio de radiación solar en Cusco</i>	77
Tabla 16 <i>Estados termodinámicos del aire</i>	80
Tabla 17 <i>Resumen de valores de parámetros del aire en los puntos 2 y 3</i>	82
Tabla 18 <i>Conductividad térmica para materiales de construcción</i>	86
Tabla 19 <i>Conductividad y resistencias térmicas de materiales de construcción</i>	87
Tabla 20 <i>Conductividad térmica para materiales de construcción</i>	87
Tabla 21 <i>Valores de Calor específico para algunos materiales</i>	108
Tabla 22 <i>Costos de equipos y materiales para la implementación del sistema</i>	111
Tabla 23 <i>Desagregado de ahorros anuales</i>	112
Tabla 24 <i>Crecimiento de la tarifa eléctrica</i>	113
Tabla 25 <i>Análisis de indicadores de rentabilidad</i>	114
Tabla 26 <i>Detalle de conceptos por facturación de consumo de energía eléctrica</i>	136
Tabla 27 <i>Histórico de consumos en kWh. Enero 2016 – Marzo 2017</i>	138
Tabla 28 <i>Histórico de consumos compartido en kWh. Abril 2017 – Marzo 2020</i>	139
Tabla 29 <i>Consumos en kWh con sistema implementado. Abril 2020 – Mayo 2021</i>	141
Tabla 30 <i>Capacidad de conductores eléctricos de cobre</i>	142
Tabla 31 <i>Consumo de energía de los artefactos eléctricos en horario nocturno</i>	148

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la vivienda en la APV Santa Rosa del distrito de San Sebastián, Provincia Cusco, departamento Cusco	1
Figura 2 Cantidad de emergencias por heladas reportadas 2018, departamento Cusco.....	5
Figura 3 Espectro electromagnético y región visible por el ojo humano	19
Figura 4 Tipos de radiación solar que recibe una superficie cualquiera	22
Figura 5 Liberación de electrones de una placa metálica por absorción de fotones	23
Figura 6 Representación de la sección de un módulo fotovoltaico.....	26
Figura 7 Esquema de un sistema fotovoltaico.....	30
Figura 8 Efecto de la temperatura en el rendimiento de una celda fotovoltaica	31
Figura 9 Efecto de la temperatura en el rendimiento de una celda fotovoltaica	31
Figura 10 Instalación de colector solar por termosifón	35
Figura 11 Detalles del tubo de vacío	35
Figura 12 Estratificación del agua en el acumulador.....	36
Figura 13 Descomposición del tanque acumulador.....	36
Figura 14 Flujo de calor a través de una pared	37
Figura 15 Analogía entre resistencia térmica y resistencia eléctrica.....	38
Figura 16 Red de resistencias térmicas.....	38
Figura 17 Gráfica de barras de consumo eléctrico de ELSE S.A.A. periodo enero del 2016 - marzo del 2017.....	41
Figura 18 Placa de Características técnicas del panel solar de la marca Propsolar de 260 W	44
Figura 19 Configuración serie – paralelo de los paneles fotovoltaicos	47
Figura 20 Variación de la declinación solar anual	48
Figura 21 Características técnicas de la batería de gel de marca Tensite de 300 Ah y 12 V.....	52
Figura 22 Características técnicas del inversor cargador de 3000 W	54
Figura 23 Cocina a inducción para la preparación de almuerzos	57
Figura 24 Sistema fotovoltaico de 6 paneles.	58
Figura 25 Registro de datos en el sistema de almacenamiento shinemonitor.com.....	60
Figura 26 Curva de potencia generada a lo largo del día, shinemonitor.com	61
Figura 27 Curva de potencia de consumo a lo largo del día, shinemonitor.com	62
Figura 28 Curvas de potencia generada y de consumo a lo largo del día, shinemonitor.com	63
Figura 29 Energía generada a lo largo del día, shinemonitor.com.....	64
Figura 30 Reporte mensual en gráfica de barras, Junio 2021.....	65
Figura 31 Fallas de registro de datos 12 junio 2021, shinemonitor.com	65
Figura 32 Fallas de registro de datos 13 junio 2021, shinemonitor.com	66
Figura 33 Fallas de registro de datos 14 junio 2021, shinemonitor.com	66
Figura 34 Reporte mensual en gráfica de barras, julio 2021	67
Figura 35 Reporte mensual en gráfica de barras, Agosto 2021	68
Figura 36 Reporte anual en gráfica de barras 2021	69
Figura 37 Vaciado de columnas para soporte de paneles	69
Figura 38 Preparación de estructura metálica de soporte de paneles.....	70
Figura 39 Montaje de paneles en la estructura de soporte	70
Figura 40 Instalaciones eléctricas del sistema fotovoltaico	71
Figura 41 Pruebas de funcionamiento y mediciones de las instalaciones.....	71
Figura 42 Ambiente del taller de encuadernación para climatizar.....	72
Figura 43 Diagrama Psicrométrico del aire a 496 mmHg de presión atmosférica	83
Figura 44 Características del recinto a calefaccionar	85

Figura 45	<i>Conformación de muro original en pleno proceso de construcción</i>	88
Figura 46	Conformación del techo, poliuretano y viguetas de concreto	92
Figura 47	Enlucido de mortero ambas caras y bloque de arcilla	94
Figura 48	Enlucido de mortero ambas caras y concreto	95
Figura 49	Puerta de madera	95
Figura 50	Ventanas de vidrio laminado	96
Figura 51	<i>Enlucido interior y bloque de arcilla</i>	96
Figura 52	Conjunto enlucido y junta de concreto	97
Figura 53	Conjunto enlucido de yeso y bloques de arcilla	97
Figura 54	<i>Conjunto enlucido de yeso y junta de concreto</i>	98
Figura 55	Conjunto enlucido de mortero, bloques de arcilla, aire, bloques	98
Figura 56	Conjunto enlucido de mortero junta de concreto, aire, junta de concreto	99
Figura 57	Conjunto enlucido de yeso, bloques de arcilla, aire, bloques	99
Figura 58	Conjunto enlucido de yeso, junta de concreto, aire, junta de concreto	100
Figura 59	Bloques de arcilla	100
Figura 60	Junta de Concreto	101
Figura 61	Conjunto enlucido de yeso, poliuretano, losa de concreto de 5cm, falso piso de concreto de 5 cm, pegamento de mayólica, mayólica	101
Figura 62	Conjunto enlucido de yeso, Losa de concreto de 20cm, falso piso de concreto de 5 cm, pegamento de mayólica, mayólica	102
Figura 63	Aire acondicionado en taller de encuadernación	103
Figura 64	Funcionamiento del sensor BME280 para registro de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica	104
Figura 65	<i>Instalación de tanque y conexiones de tuberías de agua fría</i>	109
Figura 66	Instalación de calentador solar	109
Figura 67	Conexiones sanitarias para los servicios de agua caliente	110
Figura 68	Pruebas de funcionamiento y medición de temperaturas inicial y final	110
Figura 69	Recuperación de la inversión en el tiempo	115
Figura 70	<i>Recuperación de la inversión en barras</i>	116
Figura 71	<i>Curvas de potencia y energía generadas y consumidas Junio 2021</i>	134
Figura 72	<i>Simulación de consumo de aparatos eléctricos en la plataforma de ELSE S.A.A.</i>	135
Figura 73	<i>Consumo de energía eléctrica de la red y del sistema fotovoltaico enero 2016 – Diciembre 2021</i>	137
Figura 74	<i>Gráficas comparativas de áreas gaussianas y del rectángulo equivalentes</i>	143
Figura 75	<i>Comprobante de compra de equipos y accesorios para la implementación del sistema</i>	144
Figura 76	<i>Comprobante de compra de Router RTU para transmisión de datos del sistema</i>	145
Figura 77	<i>Placas de todos los artefactos eléctricos para cálculo de demanda</i>	146
Figura 78	<i>Pico de corriente y régimen normal de corriente del refrigerador en funcionamiento</i>	149

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	124
ANEXO 2. PLANO DE UBICACIÓN DE LA VIVIENDA.....	125
ANEXO 3. ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	126
ANEXO 4. ELECTRIFICACION - PLANTA TALLER NIVEL 1	127
ANEXO 5. ELECTRIFICACION - PLANTA DEPARTAMENTO NIVEL 2.....	128
ANEXO 6. ELECTRIFICACION - PLANTA DEPARTAMENTO NIVEL 4.....	129
ANEXO 7. CORTE DEL DEPARTAMENTO EN EL SEGUNDO NIVEL	130
ANEXO 8. ISOMETRÍA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	131
ANEXO 9. RECOMENDACIONES DE FABRICANTES PARA DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN LOS RECINTOS:	132
ANEXO 10. CURVAS DEL DÍA DE MAYOR CONSUMO EN JUNIO.....	134
ANEXO 11. SIMULADOR DE CONSUMO ELECTRO (ELECTRO SUR ESTE S.A.).....	135
ANEXO 12. HISTÓRICO DE CONSUMOS (ELECTRO SUR ESTE SA).....	136
ANEXO 13. ESCENARIOS DE CONSUMOS Y REGISTRO DEL ÚNICO MEDIDOR	137
ANEXO 14. CAPACIDADES DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE COBRE	142
ANEXO 15. DIFERENCIA ENTRE HORA SOLAR PICO E IRRADIACIÓN.....	143
ANEXO 16. COMPROBANTES DE COMPRA DE COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	144
ANEXO 17. PLACAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ELECTRODOMÉSTICOS...	146
ANEXO 18. CONSUMO DE ENERGÍA NOCTURNA DE ARTEFACTOS	148
ANEXO 19. MEDICIÓN DE PICO DE CORRIENTE DEL REFRIGERADOR	149

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Amperaje: Es la magnitud eléctrica que hace referencia a la cantidad de corriente que circula por un circuito cerrado, cuya unidad de medida es el Amperio.

Análisis económico de la vida útil: Permite determinar los indicadores de rentabilidad económica del proyecto durante la vida útil del sistema.

Acumuladores: También conocido como baterías, son unidades que conforman el kit del sistema fotovoltaico, encargados de almacenar la energía generada durante las horas de sol o de liberarla en ausencia de la misma para el funcionamiento del sistema, o también libera la energía almacenada ante una fuerte demanda que requiere un mayor respaldo de la que es capaz de generar el sistema durante un determinado lapso de tiempo.

Calidad de vida: Percepción de bienestar del individuo respecto a niveles de inclusión social e igualdad y económica ante los demás.

Calor específico: Es la cantidad de calor que una determinada cantidad de materia gana o pierde al variar su temperatura en una determinada unidad de medida.

Célula fotovoltaica: Es un mecanismo electrónico que consigue convertir, la energía electromagnética de los fotones incidentes, en energía eléctrica o corriente continua.

Configuración de paneles en serie: es el arreglo de paneles fotovoltaicos cuyas conexiones son en secuencia donde el polo positivo de una va al polo positivo de la otra cuantas veces fuera necesario. Mientras que los voltajes se suman, la corriente se mantiene constante.

Configuración de paneles en paralelo: Es el arreglo de paneles donde se unen los polos positivos de los paneles en una misma conexión y los polos negativos de la misma forma generando una sola fuente única equivalente donde el voltaje se mantiene constante y las corrientes respectivas se suman.

Corriente continua: Es la corriente que mantiene constante su valor ya sea de polo positivo o de polo negativo, no cambia de polaridad en el tiempo

Corriente alterna: Es la corriente oscilante que permanentemente cambia de polaridad de manera alterna de positivo a negativo según sea su frecuencia.

Diseño: Actividad previa al desarrollo del sistema donde se contemplan los detalles técnicos y de cálculo para la realización final de un sistema.

Efecto fotoeléctrico: Se refiere al flujo de electrones que se consigue a partir de la incidencia de fotones sobre un material semiconductor como el silicio, dando lugar a la corriente eléctrica.

Eficiencia: Permite comparar mediante un cociente la cantidad de energía que entrega un sistema respecto de la energía que ingresa a la misma.

Electromovilidad: Es la actividad de transportarse de un lugar a otro haciendo uso de vehículos accionados con motor eléctrico y su respectivo acumulador de respaldo (scooters, bicicletas eléctricas, monociclo, bicimotos, autos eléctricos.)

Energía Fotovoltaica: Es la cantidad de energía que un sistema fotovoltaico es capaz de generar en función de su potencia y de las horas solar pico a la que está expuesta durante el día.

Fichas técnicas: Son los documentos de los componentes del sistema, que proporciona el fabricante donde se detallan todos los aspectos técnicos y los parámetros de funcionamiento de los mismos, tales como: Potencia, voltaje, corriente, eficiencia, temperatura de trabajo.

Fotón: Es la partícula elemental de naturaleza cuántica que da lugar a las diferentes formas de radiación o energía electromagnética.

Generador fotovoltaico: Es todo arreglo de paneles fotovoltaicos en conjunto con el inversor y las baterías, capaz de convertir la energía electromagnética en energía eléctrica.

Hora solar pico: Es la cantidad de horas de sol constante equivalente que estaría recibiendo la superficie terrestre en un determinado punto geográfico a razón de 1000W/m^2 . Se considera el valor promedio anual.

Humedad relativa: Es la concentración de vapor de agua en el aire en términos porcentuales.

Humidificador: Aparato electrodoméstico capaz de proporcionar la humedad necesaria al ambiente según se desee.

Interés compuesto: Es la tasa de interés que se aplica al valor neto actualizado.

Inversión inicial: Es la cantidad de dinero que se invierte en un determinado proyecto al inicio del mismo.

Irradiación: Es la cantidad de energía que recibe la superficie de la tierra por metro cuadrado. Se mide en Wh/m^2 .

Irradiancia: es la potencia en forma de ondas electromagnéticas que incide sobre la superficie de la tierra, con un valor convencional de 1000W/m^2

Latitud: Componente de coordenadas que mide el ángulo de inclinación medida desde el ecuador hacia el hemisferio norte o sur, siendo positiva y negativa respectivamente.

Longitud: Componente de las coordenadas geográficas que hace referencia al ángulo de apertura hacia la izquierda o hacia la derecha respecto al eje terrestre.

Ondas electromagnéticas: Son las que están conformadas por los fotones y son de naturaleza cuántica.

Potencia: Magnitud que expresa la rapidez con la que se realiza un trabajo.

Presión atmosférica: Es la fuerza por unidad de área que se experimenta en virtud de la altitud.

Temperatura: Es el grado de agitación molecular que experimentan los cuerpos y gases.

Recuperación de la inversión: Es el tiempo en el cual se recupera la inversión realizada a un proyecto.

Tasa interna de retorno: Es el interés compuesto al cual el valor actual neto resulta cero.

Termas solares o calentadores solares: son los equipos estacionarios encargados de calentar agua eficientemente a partir de la irradiación solar a la cual está expuesta.

Transmisión de datos: Actividad automática realizada por algunos componentes como los routers wifi hacia una plataforma que se encarga de almacenar estos datos para luego ser procesada.

Tubos al vacío: Son parte importante de los calentadores solares a manera de tubos concéntricos de diferentes diámetros separados por un vacío practicado a dichos tubos para evitar la pérdida de calor.

Valor actual neto: Es un indicador de la evaluación económica de un proyecto, viene a ser la sumatoria de los valores actualizados de una inversión en el tiempo, si el valor es negativo se dice que el proyecto no es rentable, caso contrario es rentable y permite tomar la decisión de llevar adelante un proyecto.

Voltaje: es la magnitud eléctrica que mide la diferencia de potencial entre un campo eléctrico y otro, determina la fuerza con la que serán movidos los electrones de los conductores eléctricos.

NOMENCLATURA Y SÍMBOLOS

Símbolo	Denominación	Unidad
I:	Intensidad de corriente eléctrica	A
E:	Tensión eléctrica / Voltaje	V
R:	Resistencia eléctrica	Ω
P:	Potencia eléctrica	W
W:	Trabajo	kWh
Icc:	Corriente de circuito cerrado	A
Ioc:	Corriente de circuito abierto	A
H	Irradiancia	W/m ²
Ho	Irradiación	Wh/m ²
HSP:	Hora solar pico	h
Ce:	Calor específico	kcal/°C.kg
m:	Masa	kg
ΔT:	Variación de temperatura	°C
q:	Flujo de calor	W/ m ²
A:	Área	m ²
h:	Entalpía	cal
V:	Volumen	m ³
k:	Conductividad térmica	W/m °C
e:	Espesor	m
R:	Resistencia térmica	m ² °C/W

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1. ÁMBITO GEOGRÁFICO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El diseño e implementación fue desarrollado en una vivienda familiar ubicado en la APV Santa Rosa, del distrito de San Sebastián, Provincia y departamento del Cusco.

Figura 1

Ubicación de la vivienda en la APV Santa Rosa del distrito de San Sebastián, Provincia Cusco, departamento Cusco



Nota. Imagen satelital tomada de Google Earth.

1.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS MEDIAS DEL LUGAR

Radiación solar media anual:	5.34 kWh/m ²
Humedad relativa media:	55%
Altitud vivienda piloto:	3340 M.S.N.M.
Temperatura promedio anual:	11.2 °C
Temperatura mínima anual:	-1.6 °C
Temperatura máxima anual:	21.7 °C
Presión atmosférica promedio:	690 mBar
Precipitación anual:	393 mm

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años en la ciudad del Cusco, se han experimentado dos hechos importantes a nivel energético: por un lado, una creciente demanda familiar de energía eléctrica, y del mismo modo, un progresivo incremento tarifario por dicho concepto, a cargo de la empresa prestadora del servicio (Electro Sur Este SA). Así también alzas frecuentes en los precios de los combustibles en general y en particular del gas de uso doméstico o GLP lo cual afecta la economía de las familias en viviendas urbanas.

Debido a los altos niveles de radiación solar de la que goza nuestra ciudad es posible adecuar e implementar sistemas que permitan el aprovechamiento de la misma y así disponer de este tipo de energía renovable que a la fecha está escasamente difundida a niveles de uso familiar, lo cual podría considerarse como un desperdicio energético dado que el promedio anual de irradiación solar para nuestra ciudad es de 5.34 kWh/m² según la NASA, la misma que no está siendo transformada en otro tipo de energía que resulte útil en el desarrollo de actividades diarias que pudieran sustituir las energías convencionales o en su defecto reducir las mismas para evitar sobre costos a fin de mes.

Por otra parte, el continuo desarrollo de las nuevas tecnologías en la búsqueda constante del óptimo aprovechamiento de las energías renovables, a través del uso de *termas solares y paneles fotovoltaicos* cada vez más avanzados, permite aprovechar la energía solar disponible para uso domiciliario a fin de reducir o incluso sustituir el uso de las energías convencionales, que continuamente se vienen encareciendo.

Mediante la implementación de un sistema que aprovecha la energía solar, también se pretende mejorar las condiciones de confort de la familia debido a que, a través de una adecuada gestión de la energía, se consigue incrementar la cantidad de artefactos o aparatos eléctricos que antes no hubiera sido posible disfrutar debido a los altos costos por concepto de energías convencionales.

Otro aspecto a considerar son las bajas temperaturas que se registran en la ciudad del Cusco y provincias, hecho que genera impactos negativos, no solo en el confort de la población en general, sino también en la salud de los mismos, toda vez que se intensifican los casos de enfermedades respiratorias (la neumonía, el resfrío, la gripe, afecciones dermatológicas y otros) principalmente en la temporada de invierno, (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de riesgos de desastres (CENEPRED, 2022) según se muestra en la Tabla 1, motivo por el cual es necesario calefaccionar los recintos domiciliarios y calentar el agua sanitaria de consumo diario, sin que esto represente un sobre costo excesivo en la economía de las familias promedio y también siempre que las condiciones de operación del sistema así lo permitan. (Rengifo, 2020)

Tabla 1

Plan de heladas y friaje años 2018

N.º	Código UBIGEO	Departamento / Provincia	Distritos	Provincias incluidas en el PMHF 2018	Distritos con heladas	Distritos con friaje	Población estimada afectada por heladas	Población estimada afectada por friaje
1	020000	Áncash	6	5	6	0	14,228	0
2	030000	Apurímac	23	7	23	0	95,865	0
3	040000	Arequipa	15	5	15	0	25,260	0
4	050000	Ayacucho	24	9	20	4	91,234	32,968
5	080000	Cusco	25	6	22	3	190,026	59,680
6	090000	Huancavelica	19	6	19	0	148,221	0
7	100000	Huánuco	7	3	1	6	5,940	32,893
8	120000	Junín	21	8	16	5	50,819	198,858
9	150000	Lima (provincia)	19	4	19	0	19,178	0
10	160000	Loreto	4	2	0	4	0	13,553
11	170000	Madre de Dios	8	3	0	8	0	51,039

N.º	Código UBIGEO	Departamento / Provincia	Distritos	Provincias incluidas en el PMHF 2018	Distritos con heladas	Distritos con friaje	Población estimada afectada por heladas	Población estimada afectada por friaje
12	190000	Pasco	8	2	2	6	39,851	65,248
13	210000	Puno	72	13	67	5	880,854	50,812
14	250000	Ucayali	6	3	0	6	0	74,305
Total	—	—	257	76	210	47	1,561,476	579,356

Nota. Plan de heladas y friaje años 2018.

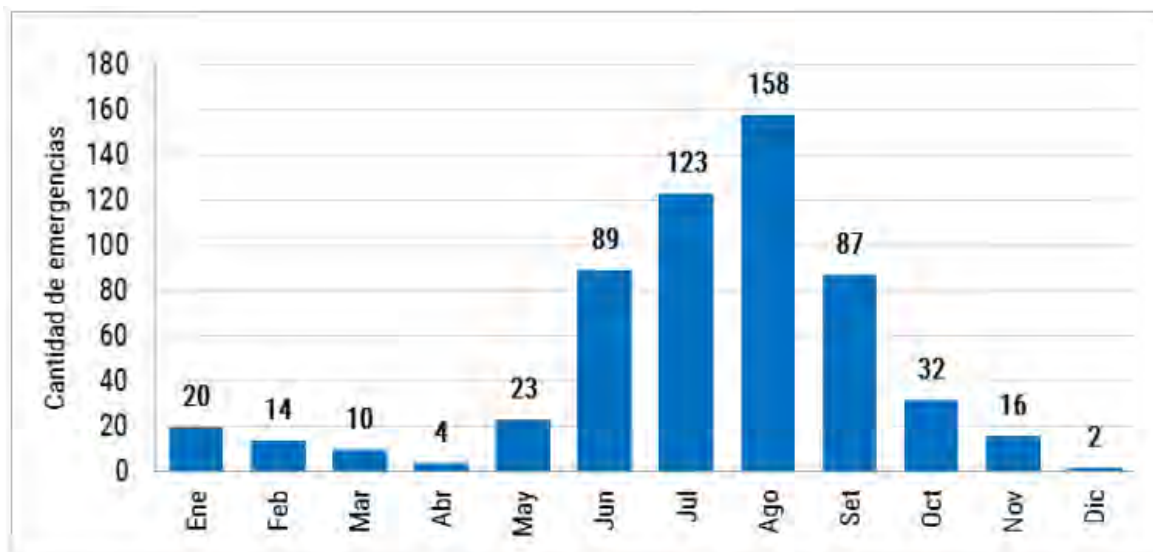
Fuente: INDECI (2018).

Por otro lado una de las características favorables en la región del Cusco, es que durante el día, sobre todo en invierno, se dispone de gran cantidad de radiación solar propia de las zonas altoandinas, situación que aún no es bien aprovechada de manera óptima a fin de lograr la calidad de vida deseada sobre todo en los recintos familiares, los mismos que pese a esa importante radiación solar en los exteriores, ocurre que los recintos interiores suelen ser ambientes fríos, los cuales deberían ser climatizados o calefaccionados con el aprovechamiento adecuado de la energía solar para el confort de sus ocupantes. (Umán, 2019)

En la época de invierno también se registran emergencias por heladas en zonas rurales sobre todo en la época de invierno que va desde abril hasta el mes de agosto, los mismos que son perjudiciales para la salud de los pobladores, así como también rebasa la capacidad de respuesta a este tipo de emergencias. (CENEPRED, 2022)

Figura 2

Cantidad de emergencias por heladas reportadas 2018, departamento Cusco



Nota. Cantidad de emergencias por heladas reportadas 2018, departamento Cusco. Datos extraídos de CENEPRED (2022).

Por todo lo mencionado arriba, en la presente investigación referida al uso y aprovechamiento de la energía solar mediante la implementación de sistemas termosolares y fotovoltaicos, la primera para la obtención de agua caliente sanitaria y la segunda para la generación de energía eléctrica, expone que es posible sustituir, parcial o totalmente el uso de las energías convencionales, a través de un óptimo aprovechamiento de la energía solar mediante un sistema autogestionado por los usuarios de la vivienda piloto; con lo que se logra reducir significativamente los costos por concepto de consumo de energía sustentables en el tiempo, y más aun teniendo en cuenta que tanto la tarifa eléctrica como el costo del GLP o gas doméstico vienen experimentando alzas considerables en los últimos años.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.4.1. PROBLEMA GENERAL

¿Es posible el diseño y la implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana?

1.4.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿De qué manera se implementa la electrificación mediante un sistema de energía solar en una vivienda urbana?

¿Será posible climatizar una vivienda urbana con energía solar?

¿De qué manera es posible el calentamiento de agua sanitaria mediante energía solar en una vivienda urbana?

¿Será rentable económicamente implementar un sistema con energía solar en una vivienda urbana?

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se justifica por las siguientes razones:

- El costo de la energía eléctrica se viene incrementando progresivamente, lo cual conlleva a un uso limitado y/o restringido por parte de los usuarios, generando una insatisfacción y un bajo nivel de confort en los integrantes de las viviendas familiares de la ciudad del Cusco debido a estas restricciones.
- La dependencia de la red pública, condiciona a las familias en el consumo de la energía producida por la única entidad prestadora del servicio eléctrico, siendo esta una razón por la que se realiza el presente trabajo de investigación en términos de autonomía energética familiar mediante la energía solar.
- El calentamiento de agua sanitaria para una vivienda familiar resulta excesivamente costoso si se hace uso de la red eléctrica o mediante el uso de gas licuado de petróleo (GLP); por lo que es necesario recurrir a otras opciones de calentamiento de agua a través del uso de los calentadores solares o termas solares.

(NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIONES, 2014) establece:

El aprovechamiento de la energía solar está contemplada en la adopción de nuevas tecnologías para optimizar su uso. La transformación para obtener el calentamiento de agua o de ambientes, así como suministro eléctrico son formas de economizar energía y contribuir a disminuir la contaminación ambiental. (p. 3).

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar e implementar un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua de una vivienda urbana.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Implementar un sistema fotovoltaico para la electrificación de una vivienda urbana.
- Climatizar una vivienda urbana mediante la electrificación con energía solar.
- Implementar un sistema de calentamiento de agua sanitaria mediante terma solar
- Determinar la rentabilidad económica del sistema mediante energía solar para la electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana.

1.7. HIPÓTESIS

La implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana, permite brindar una alternativa energética y reducir los costos.

1.8. VARIABLES

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Sistema mediante energía solar.

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Electrificación, climatización y calentamiento de agua.

1.9. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.9.1. ALCANCES

El trabajo de investigación contempla el diseño y la implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua de una vivienda urbana, aplicando los principios de la ingeniería y su aplicación mediante sistemas termosolares y fotovoltaicos.

1.9.2. LIMITACIONES

- Al ser financiado con recursos propios de los integrantes de la familia, la implementación del sistema se ajusta al presupuesto que se menciona.
- El presente trabajo de investigación presentó limitaciones con el normal funcionamiento del sub sistema de transmisión de datos WiFi motivo por el cual la información proporcionada por el sistema es irregular para algunos meses.
- Los datos de consumo históricos están basados en la data proporcionada por ELSE S.A.
- Para la implementación del sistema se adquirieron los equipos disponibles solo en el mercado nacional tales como kit de paneles fotovoltaicos y calentador solar.
- La climatización ambiental se limita a la zona más crítica de la vivienda que es el taller de encuadernación.

1.10. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO A REALIZAR

El presente trabajo plantea implementar un sistema para aprovechar la energía solar y con ello electrificar, climatizar y calentar agua sanitaria en una vivienda urbana, como parte de la iniciativa familiar para lograr reducir costos y mejorar los niveles de confort de sus integrantes. Para el diseño de este sistema se requiere ampliar los conocimientos referentes a magnitudes de energía, parámetros meteorológicos como radiación solar, irradiancia, irradiación. Así mismo se requiere interpretar todas estas magnitudes referentes a capacidad de almacenamiento de energía, potencia de paneles fotovoltaicos, energía producida por el sistema en sus diferentes unidades de medición. También se requiere adquirir habilidades técnicas en instalaciones de paneles solares y de termas solares, interpretar y ejecutar las instalaciones eléctricas de los componentes del sistema fotovoltaico tales como inversores, acumuladores, router WiFi de transmisión de datos y también adquirir conocimiento para manejo del software de la plataforma shinemonitor.com para el monitoreo y generación de reportes de los diferentes indicadores del sistema. Por último será necesario generar e interpretar la rentabilidad económica del proyecto.

1.11. METODOLOGÍA

1.11.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por su naturaleza corresponde a una investigación de tipo Aplicada y de enfoque cuantitativo, ya que a través del conocimiento técnico adquirido se orienta a resolver un problema de necesidad social como es el hecho de ampliar el acceso a la energía solar para el funcionamiento de una vivienda.

Persigue fines inmediatos y concretos y según afirma Velez S. (2001), a través de la búsqueda de la obtención de un nuevo conocimiento técnico con aplicación inmediata a un problema determinado. (...) se fundamenta en los resultados de la investigación básica, la cual a su vez está supeditada a una necesidad social por resolver. (Morante, Canahuire, & Endara, 2015, pág. 143)

1.11.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Una vez hecha la revisión de la literatura, el siguiente paso consiste en visualizar el alcance que tendrá, sin embargo, no se deben considerar los alcances como “tipos” de investigación, ya que, más que ser una clasificación, constituyen un continuo de “causalidad” que puede tener un estudio. (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014) citado por (Morante, Canahuire, & Endara, 2015). Por lo que el nivel o alcance del presente trabajo de investigación es Explicativo ya que según Morante et al. (2015) refieren:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (p. 81)

De modo que la presente investigación pretende explicar el proceso de diseño e implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana con la finalidad de optimizar el aprovechamiento de la energía solar y así lograr ventajas económicas y de condiciones de confort a partir de una mejor autogestión de la energía disponible.

1.11.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño del presente trabajo de investigación es Experimental ya que, “El término experimento tiene al menos dos acepciones, uno general y otra particular. Lo general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias” (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2014) citado por (Morante, Canahuire, & Endara, 2015, pág. 75). Es decir se trata de realizar una acción y después observar las consecuencias, o dicho de otro modo, se somete a manipulación intencional de variables independientes, para analizar las consecuencias sobre las variables dependientes, situación que la controla el investigador.

1.11.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.11.4.1. POBLACIÓN

Son los elementos que conforman el universo de cosas, personas, casos. Según Tamayo (2004) citado por Morante, et al. (2015), “la población es la totalidad del fenómeno a estudiarse siendo que las unidades de la población tienen características y rasgos en común los cuales deben estudiarse para obtener los datos importantes de la investigación” (p. 156). La cual engloba a la muestra representativa de esta población.

El presente trabajo de investigación tiene como población de estudio, a todas las fuentes de energía disponibles que pudieran aplicarse o implementarse en una vivienda urbana familiar ubicado en la Asociación Pro vivienda Santa Rosa Y-7 del distrito de San Sebastián Cusco, como son: La red pública eléctrica tradicional, gas doméstico, hidrocarburos, biomasa, sistemas eólicos, sistemas fotovoltaicos (paneles solares), calentadores solares (termas solares).

1.11.4.2. MUESTRA

La muestra del presente trabajo de investigación será el sistema fotovoltaico (conjunto de paneles, acumuladores, baterías, transmisor de datos WiFi y accesorios eléctricos) y el calentador solar (terma solar). La muestra seleccionada es de tipo no probabilística ya que no es consecuencia de un análisis de probabilidad sino más bien apunta hacia los objetivos de la investigación como parte del criterio del investigador. Entonces “la muestra es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar

un fenómeno, se debe considerar una muestra de carácter representativo de la población estudiada” (Morante, Canahuire, & Endara, 2015, pág. 82)

1.11.5. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS

Los datos de consumos históricos de energía eléctrica se obtienen de los reportes solicitado a ELSE S.A. con los cuales se genera toda la información referente a consumos de los años pasados hasta antes de implementado el sistema de energía solar, mismos que servirán para luego hacer las comparaciones con los datos resultantes que se obtengan posterior a la implementación del sistema fotovoltaico.

Los datos generados por el sistema fotovoltaico correspondientes a los consumos de la familia y a la energía producida por el sistema, son transmitidos a la plataforma shinemonitor.com de manera automática cada cinco minutos a través del router de transmisión de datos, los mismos, que luego pueden ser visualizados a través de reportes en tablas y graficas estadísticas que serán interpretadas para un adecuado análisis de resultados.

Luego estos datos del antes y el después se comparan para hacer el análisis estadístico descriptivo que permita reflejar los resultados de manera real y objetiva en cuanto a parámetros de consumo de energía, costos, y la respectiva evaluación económica y viabilidad del proyecto.

1.12. ANTECEDENTES EN SISTEMAS CON ENERGÍA SOLAR

1.12.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Investigación denominada “Diseño de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la ley N° 20571, 2016” (Miranda, 2016) en la Universidad de Chile, la cual tiene como objetivo evaluar la viabilidad y rentabilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos para viviendas conectadas a la red de distribución. Con la cual se arriba a las siguientes conclusiones:

- a) Una disminución en el costo de los paneles solares ha ido de la mano con mejoras tecnológicas y el aumento de competidores en el mercado durante la última década. Esta tendencia ha mejorado la rentabilidad de los proyectos solares. Sin embargo, la baja de precios futura dependerá de las dinámicas del mercado. La participación directa del estado en la reducción de precios podría incluir estrategias como la reducción de impuestos o subsidios a los proveedores para facilitar un acceso más asequible a los usuarios. A pesar de ser un escenario complejo, se sugiere que las subvenciones dirigidas a los usuarios interesados en las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) podrían ser una alternativa más viable (Miranda, 2016).
- b) Los incentivos financieros otorgados por el estado en la etapa inicial de un proyecto se consideran el método más eficiente para lograr iniciativas económicamente viables. Se ha comprobado que estos subsidios tienen un impacto significativo en proyectos solares, independientemente de su ubicación geográfica. Otra estrategia viable sería enfocar los esfuerzos en la reducción de los llamados "costos blandos", que incluyen gastos relacionados con permisos, instalación y cargas impositivas, entre otros. Estos elementos, aunque a menudo pasados por alto, pueden hacer más atractiva la adopción de sistemas de generación de energía residencial, incentivando a los individuos a invertir en tales proyectos. Cabe destacar que si 400,000 viviendas en Chile instalarán en promedio 10 paneles solares de 250 W cada uno, esto equivaldría a la capacidad de generación de una central fotovoltaica de 1000 MW en el sistema interconectado (Miranda, 2016).
- c) La Ley N°20.571 tiene como objetivo impulsar la generación distribuida en el país, diversificar la matriz energética y reducir el impacto ambiental. No obstante, se plantea la necesidad de una revisión de esta ley para explorar métodos efectivos que impulsen el uso de ERNC entre la población. Según lo presente, la legislación actual no parece estar logrando el despegue efectivo de la generación distribuida, alejándose de los objetivos originales para los que fue concebida (Miranda, 2016).
- d) Es esencial considerar experiencias internacionales, como la de Alemania, donde se estableció una herramienta de estandarización para la información, procedimientos y documentación de instalaciones fotovoltaicas de autoabastecimiento. Este enfoque resultó exitoso y se ha sugerido como una posible estrategia para Chile. En la actualidad, importantes instituciones relacionadas con las ERNC trabajan para establecer un sistema que asegure la calidad de las instalaciones solares y certifique su origen renovable (Miranda, 2016).

Investigación denominada “La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia” (Ladino Peralta, 2011) en la Pontificia Universidad Javeriana, Colombia, la cual tiene como objetivo describir las implicaciones sociales, ambientales, económicas y políticas del uso de la energía solar fotovoltaica y su incidencia en el desarrollo rural. Con la cual se arriba a las siguientes conclusiones:

- a) El proceso de generación de energía fotovoltaica de Carupana, es un sistema directo de conversión energética, donde existen una serie de elementos que transforman la energía solar en energía eléctrica, la dirigen y orientan hacia un sistema de acumulación, para ser aprovechada en momentos distintos, para viviendas rurales, centros de salud, escuelas. En este proceso se involucran partes importantes para la generación eléctrica como los paneles solares, el controlador de carga, el arreglo de baterías y el inversor. (Ladino Peralta, 2011, pág. 107)
- b) El programa desarrollado en la vereda de Carupana ofreció resultados de bienestar a la población: Centro de salud, (iluminación, refrigeración de medicinas, vacunas; comunicaciones vía celular, atención de emergencias en la noche); en las viviendas rurales (aumento de iluminación nocturna, acceso a las comunicaciones por radio y televisión), la escuela (bombeo de agua y manejo de aguas residuales), estos servicios no existían antes de la implantación de la energía fotovoltaica. Sin embargo no ha existido un seguimiento a este proyecto de la vereda de Carupana que permita medir los impactos de estos sistemas en la comunidad rural, donde la falta de un control social no permite conocer las verdaderas implicaciones en la población de estudio. (Ladino Peralta, 2011, pág. 108)
- c) Teniendo en cuenta el primer objetivo, para la implementación de la EFV, se establecieron los indicadores sociales, ambientales, económicos y de política en la vereda de Carupana el sector Rural municipal y el total de Tauramena. (Ladino Peralta, 2011, pág. 108)

1.12.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La investigación denominada: “Implementación de sistemas fotovoltaicos en comunidades aisladas de la redes eléctricas convencionales, en la Provincia de Bongará - Región Amazonas” realizado por Poclín (2019) en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Perú, cuyo objetivo fue dimensionar sistemas fotovoltaicos para las cuatro

comunidades aisladas de la provincia de Bongará, Región Amazonas, con lo cual se arribó a las siguientes conclusiones:

- a) La energía promedio proyectada diaria y máxima demanda para cada una de las comunidades es tal como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2

Máxima demanda y energía eléctrica proyectada por comunidad

Comunidad	Energía promedio diaria proyectada (Wh/día)	Máxima demanda proyectada (kW)
La Jalca	307,000	0.139
El Verde	8,882,571	3.628
San José	11,293,429	4.731
Perla del Imaza	16,345,429	6.781

Nota. Datos proyectados de demanda y consumo energético por comunidad. Adaptado de Poclín Mas (2019).

- b) A partir de los datos de irradiación solar del Atlas Solar del SENAMHI, aplicación web POWER Data Access Viewer de la NASA, software METEONORM y aplicación web Global Solar Atlas del grupo The World Bank, se pudo determinar la irradiación solar para calcular el sistema fotovoltaico de cada comunidad, bajo el criterio del mes crítico o del mes peor, (Poclín Mas, 2019, pág. 175). Según se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3

Máxima irradiación solar en las cuatro comunidades

Comunidad	Irradiación solar (kWh/m²/día)
La Jalca	3.953
El Verde	3.440
San José	3.440
Perla del Imaza	4.249

Nota. Valores de irradiación solar máxima registrados en las cuatro comunidades estudiadas. Adaptado de Poclín Mas (2019).

La investigación denominada: “Aprovechamiento de la energía solar para generación de energía eléctrica y reducción de emisiones de CO₂ en el caserío Nuevo Edén

- Yambrasbamba - Amazonas” realizado por (Guevara Calderón, 2018) en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque, Perú. Cuyo objetivo fue dimensionar sistemas fotovoltaicos para las cuatro comunidades aisladas de la provincia de Bongará, Región Amazonas, con lo cual se arribó a las siguientes conclusiones:

- a) El consumo de energía diaria promedio proyectado para el caserío Nuevo Edén es de 13318 Wh y la potencia requerida por el sistema de captación fotovoltaica es de 5,09 kW. (Guevara Calderón, 2018, pág. 110)
- b) Se determinó que la radiación solar en el caserío Nuevo Edén es de 3,64 kWh/m²/día en base a los datos de radiación solar promedio mensual obtenidos de la página de la NASA (3,64 kWh/m²/día), del atlas del SENAMHI (4,50 kWh/m²/día), en donde se consideró el menor de los valores. (Guevara Calderón, 2018, pág. 110)
- c) La instalación fotovoltaica estará compuesta por 16 paneles fotovoltaicos de 320 W de potencia cada uno, 16 baterías de acumuladores, 2 reguladores de carga y 2 inversor. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de 5,12 kW. (Guevara Calderón, 2018, pág. 110)

La investigación denominada: “Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en viviendas aisladas altoandinas” realizado por (Clemente De La Cruz, 2014) en la Universidad Nacional Del Centro del Perú – Huancayo, Perú. Cuyo objetivo fue Optimizar el sistema solar fotovoltaico para la generación eléctrica en viviendas aisladas altoandinas de los distritos de San José de Quero y Yanacancha, con lo cual se arribó a las siguientes conclusiones:

- a) En viviendas altoandinas de las localidades de Yanacancha y San José de Quera, la radiación solar es casi continua permaneciendo unos 5.8 a 5.9 horas picos al día y en consecuencia la radiación es 5.902 kWh/día, cantidad suficiente para la generación de energía eléctrica. (Clemente De La Cruz, 2014, pág. 107)
- b) El proceso de dimensionado de los componentes que se hizo en base a los requerimientos de iluminación, emitió la elección de: un panel fotovoltaico de 85 W, una batería de 60 Ah, un controlador de carga de 10 A y conductores eléctricos de calibre AWG 12 y 10. (Clemente De La Cruz, 2014, pág. 107)

1.12.3. ANTECEDENTES LOCALES

Investigación denominada: “Estrategias de climatización pasiva y confort térmico en la vivienda de adobe en la zona rural de Anta – Cusco, 2017” realizado por (Umán, 2019) en la Universidad Ricardo Palma – Perú, cuyo objetivo fue diseñar un sistema para climatización para vivienda de adobe en zona rural de Anta – Cusco, con lo cual se arriba a las siguientes conclusiones:

- a) En conclusión, una vez desarrollada la investigación se puede afirmar que, las estrategias de climatización pasiva mediante sistemas naturales, son la opción más adecuada para mejorar las condiciones térmicas de habitabilidad en las viviendas de adobe de la zona rural de Anta – Cusco 2017. Esto debido a que son soluciones de fácil aceptación que se pueden implementar tanto en viviendas nuevas como en existentes, sin alterar las características tradicionales de la vivienda. Se adaptan con facilidad a las características sociales, culturales y ambientales de la zona de estudio. (Umán, 2019, pág. 161)
- b) La población encuestada afirma que la sensación de confort térmico en las viviendas es casi nula. Los espacios al no tener condiciones térmicas adecuadas ocasionan infecciones respiratorias, incrementando los casos de morbilidad y mortalidad. (Umán, 2019, pág. 163)

Investigación denominada “Diseño y construcción de un Módulo de aire acondicionado por expansión directa de 12BTU/h usando energía solar, 2018” Realizado por (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018) en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú. Cuyo objetivo fue diseñar y construir un módulo de aire acondicionado capaz de operar usando energía solar, en la ciudad del Cusco. Con ello la investigación arriba a las siguientes conclusiones:

- a) Las cargas térmicas calculadas para calefacción son de 11981 BTU/H y para el enfriamiento (refrigeración) es de 8326,128 BTU/H, con estos datos se instaló un equipo con una capacidad de 12000BTU/H para calefacción y refrigeración. (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018, pág. 136)
- b) La capacidad del panel solar es de 150W, del inversor es de 3500W de potencia, el regulador es de 30A, del acumulador es de 200AH, lo cual el sistema de aire acondicionado tiene una autonomía de 35 minutos. (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018, pág. 136)

- c) El módulo de aire acondicionado por expansión directa accionado por energía solar fotovoltaico es rentable ya que la tasa interna de retorno (TIR) es de 2.7% y el valor actual neto (VAN) es de 860.55 soles en un periodo de 9 años. (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018, pág. 137)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. TEORÍA DE LA ENERGÍA SOLAR - BASES TEÓRICAS

Es la principal fuente de energía con la que cuenta nuestro sistema planetario solar, y a nivel terrestre llega en forma de ondas electromagnéticas lo que conforma el llamado espectro electromagnético compuestos por rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarojos, microondas y ondas de radio, las mismas que la especie humana sólo puede percibir en forma de luz y de calor. Carta et al., (2009) refiere: “Es la energía radiante proveniente del Sol y que llega a la superficie de la tierra (infrarrojo, luz visible y ultravioleta)” (p. 45). Se estima que cerca del 70% de la radiación solar es la que llega a la superficie terrestre, mientras que el otro 30% es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio.

2.1.1. RADIACIÓN E IRRADIACIÓN SOLAR

Radiación es la energía electromagnética (del sol) emitida, transferida o recibida. El término radiación se aplica al cuerpo que irradia, mientras que el término irradiación al objeto expuesto a la radiación. (RISOL, 1999).

La irradiación solar es una de las variables más importantes, por ser la fuente de energía utilizada en la gran mayoría de los procesos en nuestro planeta. No obstante la importancia de esta variable, su medición es escasa debido a los altos costos del instrumental de precisión requerido así como de su mantenimiento, por lo que la red de medición en el Perú, como en muchos otros países, es limitada. De otro lado, la gran variabilidad topográfica y climática del territorio peruano obliga a tener que considerar redes más densas y bien distribuidas a nivel nacional para una evaluación más precisa y detallada de este recurso. (SENAMHI, 2003).

Aquí podemos hacer la siguiente afirmación: mientras que la *irradiancia* es una magnitud de *potencia* por unidad de área (W/m^2), la *irradiación* es una magnitud de *energía acumulada* en el tiempo por unidad de área (Wh/m^2).

Estrictamente, la superficie terrestre es irradiada y los mapas y tablas son de irradiación solar, sin embargo, aún hoy en día suele usarse el término radiación para referirse a la irradiación. (Rodríguez y Gonzáles, 1992). Las cantidades de radiación se expresan generalmente en términos de irradiancia o irradiación (exposición radiante).

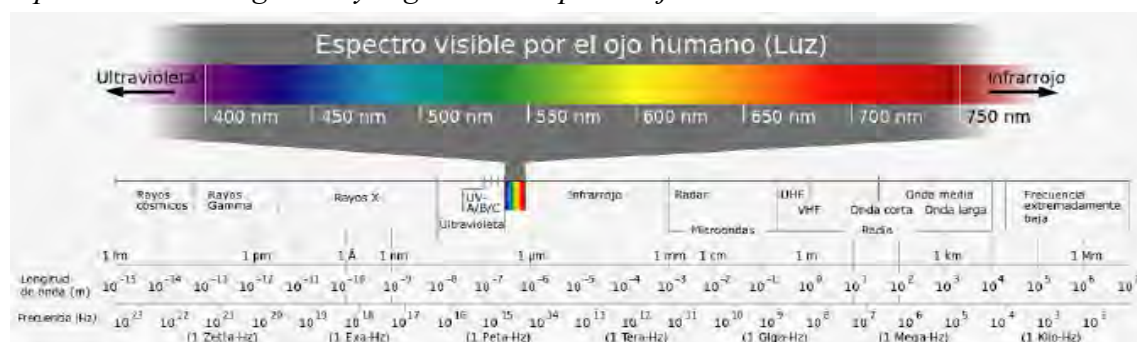
Para el caso de nuestra geografía peruana se tienen importantes agentes o factores naturales que intervienen y controlan el clima, el cual determina la distribución de la radiación a nivel nacional, tales como: La Cordillera de los Andes, el anticiclón del Pacífico Sur.

2.1.2 LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Es un tipo de campo electromagnético variable que se propaga transportando energía y se caracteriza por no necesitar un medio material para su transmisión. La radiación electromagnética cubre un espectro que va de longitudes de onda muy cortas hasta longitudes de onda correspondientes a centenares de metros. (Miranda Escobar, 2016)

Figura 3

Espectro electromagnético y región visible por el ojo humano



Nota. Esquema del espectro electromagnético y rango visible de la luz. Adaptado de Miranda Escobar, (2016).

Según refiere Miranda (2016):

Para modelar la radiación emitida por un cuerpo, se utiliza el concepto de *cuerpo negro*, que corresponde a un objeto ideal capaz de absorber toda la energía que incide sobre él, y radia en todas las longitudes de onda. Todo cuerpo con temperatura mayor a 0 °K radia energía electromagnética, siendo la cantidad de energía función de la temperatura del cuerpo.(p. 81)

2.2. CLASIFICACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR

2.2.1. IRRADIACIÓN DIRECTA

Como su nombre lo indica, es el tipo de radiación que llega de manera directa sobre la superficie terrestre, sin desviaciones de uno u otro obstáculo, se caracterizan porque al incidir sobre los cuerpos u objetos presentan sombras bien definidas. Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección. (SENAMHI, 2003)

2.2.2. IRRADIACIÓN DIFUSA

Según recoge SENAMHI (2003):

Radiación que proviene de otras direcciones (distintas a las del disco solar) debido a la reflexión y dispersión que producen en la radiación solar, la atmósfera y las nubes. (p.9).

Radiación solar procedente de toda la bóveda celeste. Está originada por la dispersión de la radiación en la atmósfera (RISOL, 1 999).

De modo que son aquellas que en su trayecto, desde el momento en que ingresan a la atmósfera, son desviados o absorbidos por cuerpos, objetos, montañas, nubes, etc. de tal manera que pierden energía antes de llegar a la superficie terrestre. Estas no proyectan sombras y sólo son aprovechadas por todo plano horizontal y parcialmente aprovechadas por planos verticales.

2.2.3. IRRADIACIÓN REFLEJADA

Fracción de la irradiación solar (directa y difusa) que es reflejada por la superficie terrestre (SENAMHI, 2003)

Concluimos entonces afirmando que es aquella que luego de haber incidido en algunos cuerpos, objetos o entes se dirigen o son reflejadas hacia la superficie terrestre plana, por ello su nombre.

2.2.4. IRRADIACIÓN SOLAR O IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL (H)

El SENAMHI (2003), en su artículo titulado “Atlas de energía solar en el Perú” adopta las siguientes definiciones:

Energía solar incidente en una superficie por unidad de área. Es el resultado de integrar la irradiancia en un período de tiempo. Sus unidades son J/m^2 o kWh/m^2 .

Es aquella radiación procedente del sol que incide sobre la superficie terrestre (directa y difusa) (García, 1984).

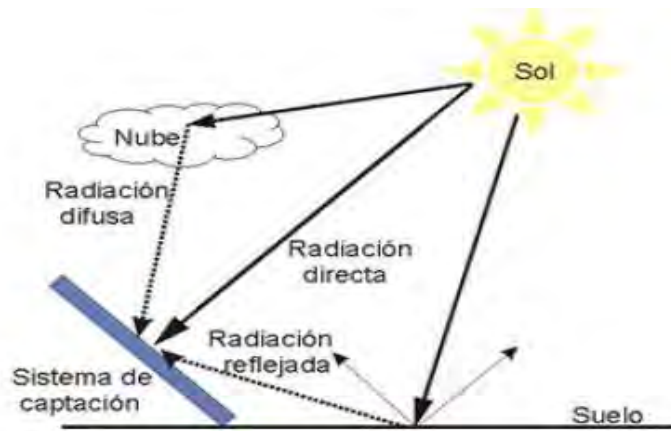
Entonces, en realidad se reciben estos tres tipos de radiación, sin embargo solo la directa y la difusa son aprovechadas a la sumatoria de las cuales se le denomina *radiación global*, aunque cabe indicar que en horas despejadas la radiación directa es mucho mayor que la difusa; mientras que en horas nubladas solo se presenta la radiación difusa en una determinada superficie delimitada. Además se debe tener en cuenta que se presenta el fenómeno de radiación reflejada, la cual retorna hacia la atmósfera luego de impactar sobre la superficie terrestre, también llamada “Radiación de Albedo”.

Se debe precisar que la irradiancia normal fuera de la atmósfera recibe el nombre de *constante solar* cuyo valor promedio es de 1354 W/m^2 , mientras que el valor máximo se alcanza en el perihelio (lugar donde un planeta está más próximo al sol) siendo su valor de 1395 W/m^2 , y por su parte el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta está más alejado del sol) y es de 1308 W/m^2 .

Con referencia a la irradiancia solar, es decir la potencia por metro cuadrado en la capa exterior de la atmósfera, se consideran dos valores: por su parte la NASA (2015) establece que dicha irradiancia tiene un valor de 1353 W/m^2 , mientras que según la Organización Mundial de Meteorología (WMO) establece un valor de 1373 W/m^2 , tomándose finalmente un valor promedio de 1363 W/m^2 a lo cual se denomina “constante solar”. Cabe indicar que este valor a nivel de la superficie terrestre se ve afectado por todos los componentes de la atmósfera (nubes, tormentas, etc) de modo que se distinguen dos tipos de energía denominados directa y difusa a nivel de la superficie terrestre finalmente.

Figura 4

Tipos de radiación solar que recibe una superficie cualquiera



Nota. Representación de una superficie captando la energía solar. Adaptado de Romero (2015).

2.3. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO FOTOELÉCTRICO.

2.3.1. IRRADIACIÓN FOTOVOLTAICA.

Es la recepción de la radiación solar el cual se aprovecha por medio de paneles o celdas fotovoltaicas, capaces de convertir la incidencia de fotones de luz en potencial eléctrico que luego se podrá emplear de la misma manera al del suministro de la red eléctrica dependiendo de la capacidad del conjunto fotovoltaico. (Romero, 2015)

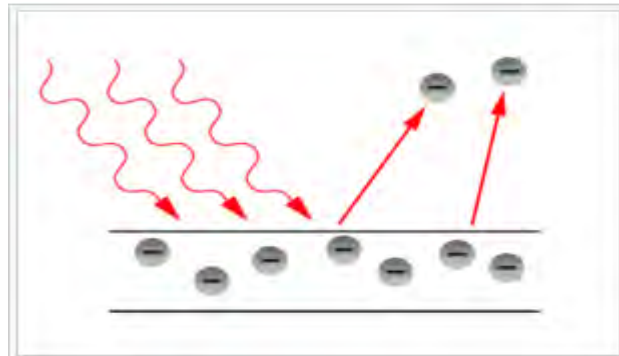
2.3.2. EFECTO FOTOELÉCTRICO O FOTOVOLTAICO

Consiste en la estimulación de la materia a través de la incidencia de fotones sobre esta para el desprendimiento de electrones los cuales dan lugar al flujo de estos obteniéndose entonces una intensidad de corriente la cual se espera aprovechar para su posterior aprovechamiento eléctrico del fenómeno. Este comportamiento de liberación de electrones es eficiente en materiales metálicos razón por la cual son bastante conocidos por su gran conductividad eléctrica. (Romero, 2015)

Antecedentes de este tipo de experimentos realizados por Planck y Einstein respectivamente demuestran que la cantidad de paquetes de fotones incidentes sobre placas de Zinc son absorbidas para luego liberar electrones de la zona o banda de conducción. De igual modo se puede observar este fenómeno en láminas semiconductoras ya sean de tipo P o tipo N. (Romero, 2015).

Figura 5

Liberación de electrones de una placa metálica por absorción de fotones



Nota. Nótese como los electrones son liberados al ser incididos por los fotones de la luz solar. Adaptado de Romero (2015).

De modo cuantitativo se puede expresar la siguiente ecuación de Einsten que expresa el valor de la energía absorbida de los fotones incidentes sobre una lámina respecto a la energía de liberación de los electrones y su respectiva energía cinética con la que son emitidos:

$$hf = hf_0 + \frac{1}{2}mv_m^2,$$

que puede también escribirse como:

(2.1)

$$hf = \phi + E_k.$$

Donde:

hf : Energía absorbida del fotón.

h : Constante de Planck

f_0 : Frecuencia de corte mínima para que se dé el efecto eléctrico

ϕ : Función de trabajo o energía mínima para llevar al electrón del nivel de Fermi al exterior del material.

E_k : Máxima energía cinética del electrón emitido.

Nota: Si la energía del fotón (hf) no es mayor que la función de trabajo (ϕ), ningún electrón será emitido.

2.3.3. CÉLULAS FOTOELÉCTRICAS.

Son dispositivos formados de material semiconductor, normalmente de silicio, que son capaces transformar los rayos del sol en energía eléctrica. Aunque el silicio es el material más abundante en la tierra después del oxígeno, ya que se encuentra en casi todas las rocas, para la fabricación de las células fotovoltaicas se lo necesita en su forma cristalina y sin imperfecciones. El proceso para llevar al silicio a su forma cristalina es complejo y costoso. (Romero, 2015)

Una celda fotoeléctrica es la unión de dos placas semiconductoras, generalmente fabricadas de Silicio (Si), cuyo tratamiento con Fósforo y Boro dan lugar a las zonas negativas y positivas respectivamente de modo que se pueda establecer las diferencias de potencial necesarias que permitan el flujo de electrones y huecos en sentidos opuestos. A la unión de dichas zonas se genera un campo eléctrico y se conoce como unión p-n. Siendo la capa n la que recibirá la incidencia de luz a fin de generar el flujo de electrones deseados, y entonces la corriente generada dependerá proporcionalmente de la cantidad de luz que reciba la capa n. (Romero, 2015)

Entonces los paneles fotovoltaicos son las conexiones en grupo de estas celdas fotoeléctricas con la finalidad de incrementar su capacidad de generación eléctrica ya sea en serie o paralelo la misma que va recubierta de cristales debidamente tratados para su adecuado funcionamiento.

Se distinguen dos tipos de células fotoeléctricas compuestas de silicio:

Células de silicio policristalino.- Su proceso de fabricación es similar al del silicio monocristalino pero no necesita un riguroso control de temperatura en su etapa de enfriamiento. Su rendimiento llega al **14%**, su costo es ligeramente más económico que el del monocristalino y su ventaja es que se pueden producir directamente células de forma cuadrada sin necesidad de cortes posteriores. Anteriormente estas células no eran muy utilizadas ya que la diferencia de costo con respecto a las monocristalinas era mínima, pero estudios actuales indican que hay nuevas tecnologías que harán que las células policristalinas vuelvan a competir con las tecnologías tradicionales. (Romero, 2015)

Células de silicio monocristalino.- Son las células más utilizadas actualmente, su estructura es completamente ordenada. El proceso para llegar a la monocristalización requiere de mucho tiempo y energía, por esta razón su elevado costo, además existe una

demanda muy pequeña para los paneles solares. Se lo obtiene dopando silicio puro con boro y su rendimiento llega hasta el **18%**. Actualmente se está investigando en procesos de bajo costo que aumenten su rendimiento mediante la utilización de nano partículas de plata, llegando a aumentarlo en un 2,3%. (Romero, 2015)

Se deduce entonces que los paneles solares con células monocristalinas son relativamente más eficientes que las policristalinas. Para nuestro caso se emplearán paneles fotovoltaicos con celdas monocristalinas.

Se han conseguido células solares bifaciales con rendimientos del 19,1% por la cara posterior (dopada con fósforo) y 18,1% por la frontal (dopada con boro).

Las células bifaciales pueden integrarse en módulos bifaciales, que aprovechan la luz reflejada en su cara posterior, aumentando de esa forma la conversión de energía. Además, son especialmente indicadas para su uso en concentradores estáticos, pues duplican el nivel de concentración alcanzable.

Se ha conseguido fabricar células bifaciales con silicio con rendimientos del 17,7% por la cara posterior y 15,2% por la cara frontal. Que sepamos, éste es el mejor rendimiento conseguido en el mundo para células bifaciales sobre silicio. (Carta Gonzales, Calero Perez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

2.3.4. PANELES O MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Los módulos o paneles fotovoltaicos son estructuras que están compuestas por células fotovoltaicas. Por lo general contienen entre 40 y 80 células fotovoltaicas y su tamaño varía entre los 0,80 m² y los 2 m², pero el más utilizado es el módulo plano de 36 células compuesto por vidrio, EVA2 y TEDLAR3 que produce voltaje suficiente para alimentar una batería de 12V. (Romero, 2015).

Según menciona Romero (2015). estos módulos están conformados por los siguientes componentes:

Cubierta exterior.- Es de vidrio templado ya que es resistente y permite el paso de la radiación solar. Su función es la de proteger a todos los componentes del panel de los fenómenos atmosféricos.

Capas encapsulantes.- Principalmente son de silicona, etil-vinilo-acetileno (EVA) o polivinilo butiral o de cualquier material que tenga buena transmisión de la radiación solar y que no se degrade ante los rayos ultravioletas. Su función, aparte de adherir las cubiertas, es la de amortiguar las posibles vibraciones e impactos.

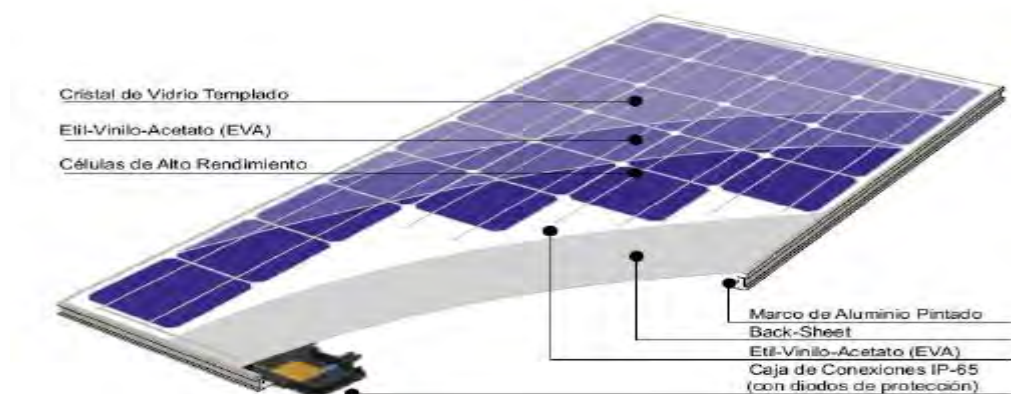
Protección posterior.- Por lo general es de materiales acrílicos, siliconas, pero actualmente los más utilizados son: TEDLAR o EVA. Sirve para proteger al panel de los agentes atmosféricos, principalmente de la humedad.

Marco de soporte.- Es de aluminio anodizado o de acero inoxidable. Sirve para dar soporte a todo el conjunto y como elemento de unión mecánica entre módulos.

Contactos eléctricos.- Son cables de cobre que permiten recoger a la energía que entrega el módulo y se encuentran en la parte posterior del módulo en una caja que los protege de la humedad. También pueden estar compuestos por elementos de protección como diodos de bypass que lo protegen de las sombras parciales.

Figura 6

Representación de la sección de un módulo fotovoltaico



Nota. Se menciona las partes de un módulo fotovoltaico. Adaptado de Romero (2015)

Cabe mencionar de manera excepcional, que recientemente se viene realizando investigaciones en la Universidad Davis de California mediante la revista ACS Photonics, para generar electricidad durante la noche a través de *células termoradiativas* a cuyos paneles se les denomina “paneles antisorales” , llegando a generar un aproximado de 50 w/m² cuyo valor es un 25% de lo que los paneles fotovoltaicos tradicionales pueden producir, de modo que con esta tecnología se estaría aprovechando incluso la energía

durante la noche. Este panel antisolar trabajaría de manera inversa a la de un panel tradicional, en el sentido de que durante el día la placa solar es fría respecto al ambiente y al agente radiante (el sol), de modo que la placa absorbe dicho “calor”. Lo que ocurre con estos paneles es que durante la noche, al estar más calientes que el medio que lo rodea (aire frío) emiten calor hacia el exterior. (Ojea , 2019)

Según refiere Ojea (2019):

En esencia, consiste en tener energía térmica que proviene del Sol y esa célula solar normal capta esa energía a medida que se llega a la Tierra, por lo que básicamente necesita dos cuerpos de temperatura diferentes y alguna forma de convertir esa energía. A diferencia de los generadores termoelectricos tradicionales, nuestro dispositivo acopla el lado frío del módulo termoelectrico a una superficie orientada al cielo que irradia calor al frío del espacio y tiene su lado cálido calentado por el aire circundante, lo que permite la generación de electricidad por la noche. (p. 56).

2.3.4.1. PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS.

Son los paneles solares fabricados a partir de la agrupación de células fotovoltaicas monocristalinas, las mismas que como se pudo ver, alcanzan eficiencias de hasta 14%. La característica de estos cristales es que son de diferentes procedencias teniendo como base el silicio, por lo que al ser agrupadas nos son cristales uniformes lo que hace que cada unión de estas les reste la eficiencia. Sus principales insumos son la arena de sílice y el carbón los mismos que son fundidos en hornos de arco eléctrico y luego se obtienen barras de silicio los cuales luego son pulverizados y combinados con cloruro de hidrógeno para luego formar lingotes los mismos que luego son cortados en finas láminas y forman las placas solares. Los paneles solares pueden estar conformados de 36, 72 y de 96 celdas solares. (Carta et al., 2009).

2.3.4.2. PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS.

Están conformados por células monocristalinas, que como se vio alcanzan eficiencias de 18%, los trozos de silicio puro se funden en un crisol y combinados con un cristal semilla y los átomos de silicio se adhieren a él formando un lingote altamente puro que luego serán cortados en finas láminas, los mismos que conformarán las celdas fotovoltaicas de este tipo de paneles monocristalinos. (Carta et al., 2009)

2.3.4.3. PANELES FOTOVOLTAICOS AMORFOS.

Son de aplicación para instrumentos pequeños de menor consumo como calculadoras, juguetes, lámparas solares, etc, alcanzan rendimientos de 6% por lo mismo que sus cristales no demandan una compleja fabricación comparados como con los dos anteriores y a su vez que su aplicación son para aparatos pequeños de bajo consumo.

2.3.5. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA.

Para que toda la energía generada a través de los paneles fotovoltaicos sea eficientemente aprovechada se requiere de la participación de otros elementos que sean capaces de convertir, controlar y almacenar la energía eléctrica de tal manera que tengamos disponible para su aplicación eficiente ya sea para uso domiciliario e industrial o según sea el caso.

2.3.5.1. INVERSOR DE CORRIENTE

Está constituido por los convertidores e inversores, elementos cuya finalidad es adaptar las características de la corriente generada a la demanda total o parcial de las aplicaciones. (Muñoz Anticona, 2005)

Según refiere (Muñoz Anticona, 2005) otros aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores son:

- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticas cuando no se esté empleando ningún equipo de corriente alterna.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima.

2.3.5.2. BATERÍA O SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN

Según refiere (Muñoz Anticono, 2005): En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación.

La función de las baterías es también la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Como en el caso de un motor, que en el momento del arranque requiere una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante los primeros segundos. (Muñoz Anticono, 2005)

Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende

en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello considerado un elemento crítico dentro del sistema de generación eléctrica fotovoltaica. (Muñoz Anticono, 2005)

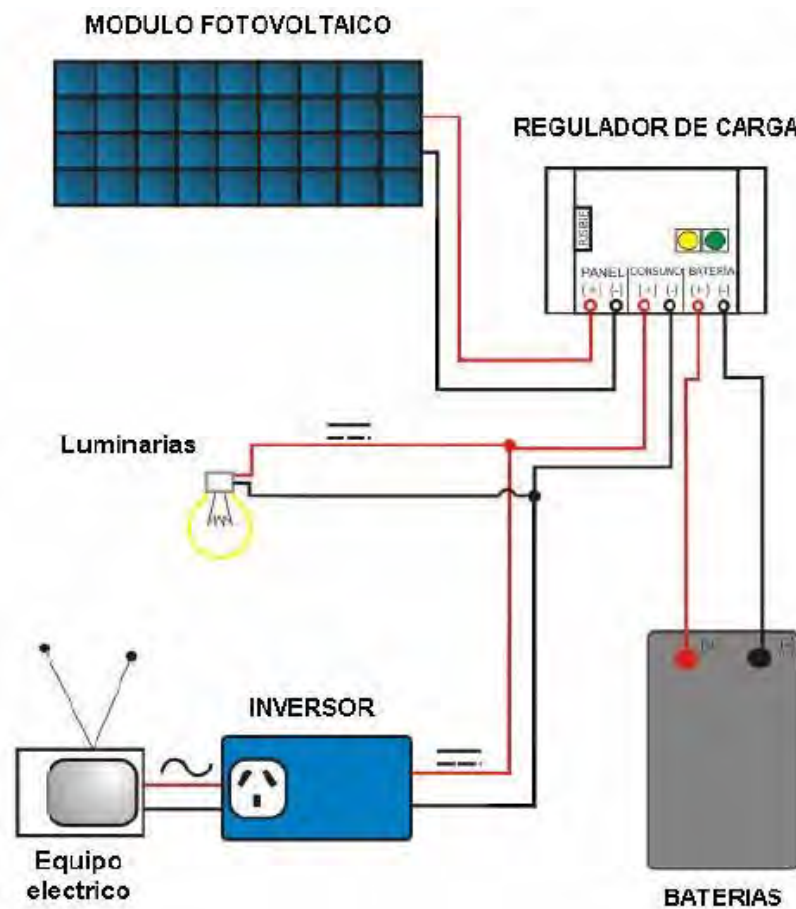
Las baterías deberán ser del mismo tipo, capacidad e incluso se recomienda de la misma fecha de fabricación.

2.3.5.3. CONTROLADOR DE CORRIENTE

El regulador de carga tiene como función proteger los acumuladores contra la sobrecarga y descarga. En caso de sobrecarga, pone las placas en cortocircuito y corta la corriente hacia los acumuladores, o advierte al consumidor con una alarma, en el segundo caso, el de descarga excesiva, o avisa con la alarma o corta el suministro cuando la cantidad de energía eléctrica del acumulador se pone por debajo de un nivel de seguridad. (Muñoz Anticono, 2005). Cabe mencionar que los equipos modernos traen integrados los inversores y reguladores en una misma unidad compacta.

Figura 7

Esquema de un sistema fotovoltaico



Nota. Se muestra el diagrama de conexiones de todos los componentes. Adaptado de Muñoz Anticona (2005)

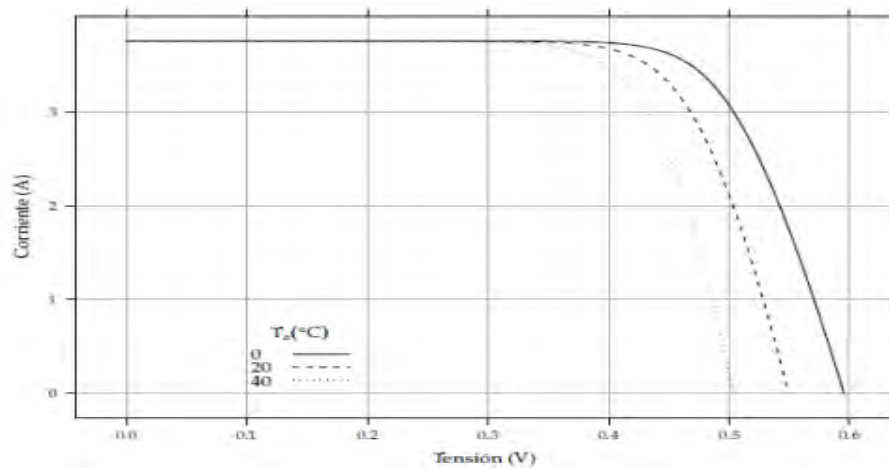
2.3.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

2.3.6.1. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Los efectos de la temperatura en el rendimiento de las celdas o en los paneles fotovoltaicos tienen un efecto adverso, es decir, tal como se muestra en la figura 8, a mayor temperatura del panel se genera un menor voltaje y en consecuencia una menor potencia. (Miranda Escobar, 2016)

Figura 8

Efecto de la temperatura en el rendimiento de una celda fotovoltaica



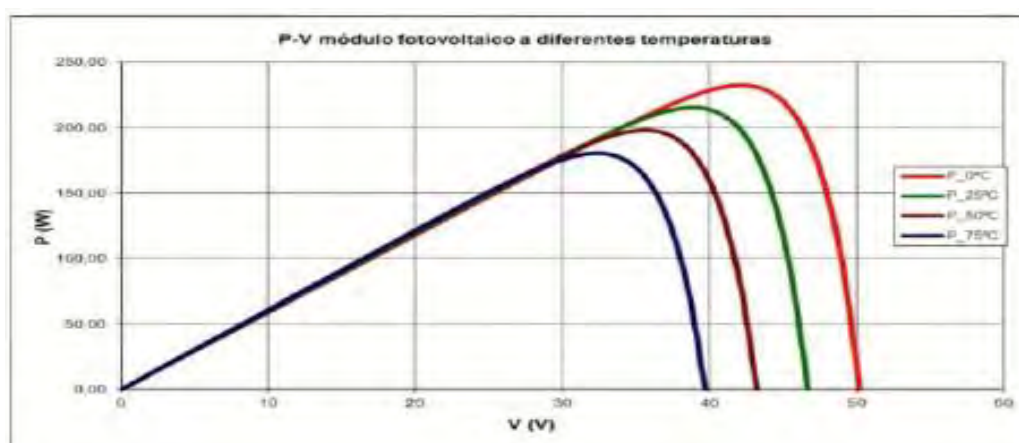
Nota. Se observa que, a mayor temperatura, la corriente y el voltaje decaen ligeramente. (Miranda Escobar, 2016)

2.3.6.1. CURVA POTENCIA-VOLTAJE EN UN PANEL FOTOVOLTAICO Y LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA

El efecto de la temperatura al afectar el rendimiento repercute en la potencia que debería entregar o generar el panel fotovoltaico; es decir que, a mayor temperatura, menor será la potencia generada.

Figura 9

Efecto de la temperatura en el rendimiento de una celda fotovoltaica



Nota. Nótese la curva potencia . voltaje afectado por la temperatura de un panel fotovoltaico. (Miranda Escobar, 2016)

2.4. RACIONALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

En la utilización de una instalación eléctrica, **no es necesario tener una potencia disponible correspondiente a la totalidad de los usos simultáneos posibles**. En efecto, el consumo total, si tiene lugar, se produce sólo en algunos momentos durante el día y de forma muy aleatoria (puede depender de la temperatura exterior, del día de la semana, del estilo de vida, etc.). (Electro Industria, 2010)

Por ello, en vez de contratar una potencia correspondiente al máximo de las necesidades, es más juicioso contratar una potencia eléctrica más baja y admitir, en contrapartida, detener algunos equipos domésticos durante un corto tiempo si se sobrepasa dicha potencia contratada. (Electro Industria, 2010)

La elección de los equipos que se pueden detener se realiza en función de las necesidades y del confort que cada usuario requiere en su casa. Es importante recordar que la inercia térmica de una vivienda permite el paro momentáneo de la calefacción eléctrica o aire acondicionado sin alterar lo más mínimo el confort, ya que la temperatura del ambiente no se alterará por dicho pequeño paro. Evidentemente, no se pueden parar funciones elementales como, por ejemplo, la iluminación o algunos aparatos electrodomésticos (refrigerador, congelador, etc.). (Electro Industria, 2010)

Racionalizar el consumo eléctrico no es en sí mismo un elemento de confort suplementario para el usuario, sino la reducción del costo de explotación de la vivienda, gracias a una mejor gestión y adaptación del uso de la electricidad, sin perder calidad de vida y, de forma indirecta, contribuyendo a la sustentabilidad de su vivienda. (Electro Industria, 2010)

Entonces la racionalización de la energía no es otra cosa que el uso inteligente de la misma con la finalidad de administrarla adecuadamente evitando sobrecarga al sistema y a su vez sobre costos en las facturaciones mensuales o para nuestro caso, evitando sobredimensionar la implementación de nuestro sistema de generación fotovoltaica la misma que se traduciría en sobredimensionamiento del sistema y como consecuencia de ello sobre costo; es decir más paneles fotovoltaicos, más baterías, un inversor de mayor capacidad, y otros, los cuales harían inviables el proyecto.

Adicional a todo lo explicado, es preciso acotar que existen sistemas automáticos de racionalización de la energía los cuales contribuyen a su uso inteligente y una mejor administración de la misma, aunque, en nuestro caso, no es motivo de estudio.

2.4.1. RACIONALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA POR ILUMINACIÓN

Para el cálculo de carga por iluminación de los recintos se debe considerar la potencia de estos, dado que lo que se procura es tener la mayor iluminación posible y con el menor consumo de energía, se debe elegir los que actualmente se consideran más eficientes tales como los del tipo LED (Diodo emisor de Luz) los cuales registran potencias por debajo de los 10W y de gran capacidad de alumbre.

En general las buenas prácticas y adoptar buenos hábitos con el uso de la energía eléctrica contribuyen positivamente a la racionalización esperada. Por ejemplo, se pueden establecer horarios para el funcionamiento de determinados equipos en función a su criticidad y a su potencia de modo que, en lo posible, se evite el funcionamiento simultáneo de los equipos eléctricos domiciliarios, más aun tratándose de un sistema fotovoltaico con dimensionamiento limitado a una necesidad de carga promedio. Es de vital importancia entonces, *racionalizar* inteligentemente al máximo el uso de nuestros equipos eléctricos y adoptar nuevos hábitos que permitan administrar eficientemente la energía solar generada en nuestro sistema domiciliario.

2.5. CLIMATIZACIÓN AMBIENTAL

La climatización de recintos se refiere a las acciones destinadas a poder otorgarle características deseadas de temperatura, humedad y renovación del aire contenido en el espacio físico habitado por los usuarios de un recinto, de modo que se logren mejores condiciones de confort, ya sea calentando o refrigerando el ambiente.

Para nuestro caso, cabe resaltar que por las condiciones propias de nuestra localidad, los espacios habitados requieren ser *calefaccionados* durante todo el año en vista que las temperaturas mínimas van incluso desde los 1°C hasta un máximo de 21°C, siendo la temperatura promedio anual de 12°C en la ciudad del Cusco según reportes del SENAMHI. De modo que es preciso climatizar los recintos a fin de lograr la temperatura de confort humano que se estima en un promedio a partir de los 18°C tal como lo

recomienda la Norma Técnica de Edificaciones EM.110, la misma que se aplicará para efectos de cálculos en nuestro caso.

Si bien se cuenta con equipos y sistemas de calefacción eléctricos o a gas para su inmediata adaptación, algo que limita actualmente el uso generalizado de los mismos es el alto costo de operación, de modo que sólo es empleado en el sector industrial, turismo o comercial tales como en hoteles y restaurantes de primer nivel. Sin embargo, lo que se pretende con esta investigación es lograr que las familias en zona urbana tengan acceso a un determinado nivel calefacción aceptable el cual permita alcanzar la temperatura de confort deseada sin que esto implique incurrir en altos costos de operación.

2.6. CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

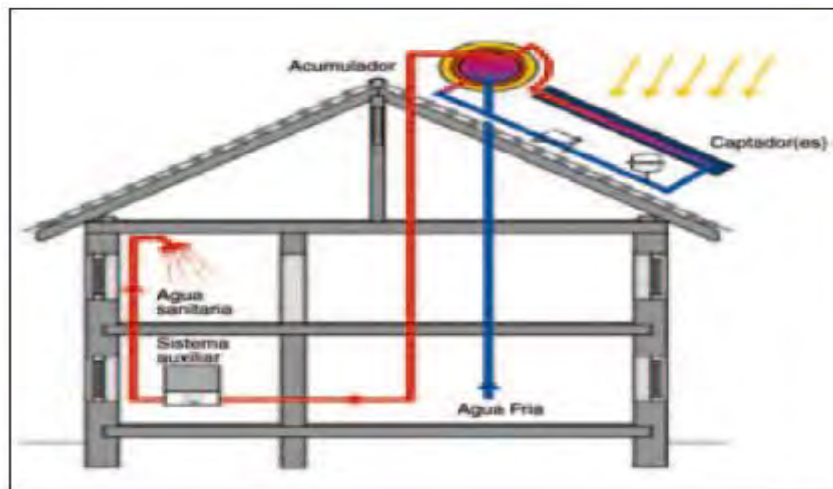
El agua de uso doméstico, ya sea para la aplicación en los servicios higiénicos o para el lavadero, también requiere ser calentado dado que su uso directo suele alcanzar temperaturas incluso por debajo del punto de congelación sobre todo en época de invierno debido a las características de la ciudad del Cusco. Por lo tanto es necesario disponer y evaluar la aplicación de estos sistemas de calentamiento de agua sanitaria adaptados a una fuente de energía solar.

En esta parte es importante destacar que un gran porcentaje de familias en el Cusco no acceden a este tipo de servicio de agua caliente debido a los altos costos que representan las opciones convencionales (uso de calefactores a gas o calentadores eléctricos), lo cual expone a los usuarios a posibles afecciones de enfermedades respiratorias como la gripe, la tos e incluso a malestares que a largo plazo se suelen presentar debido al uso frecuente de agua a bajas temperaturas, tales como la artritis o la artrosis. De tal manera que una buena alternativa es el uso extendido de este tipo de sistema de calentamiento de agua sanitaria mediante el aprovechamiento de la energía solar a través del uso de los paneles solares.

Existen tres tipos de sistemas de aprovechamiento de energía solar para calentamiento de agua según la temperatura de alcance: Sistema de baja, media y alta temperatura que van hasta los 90°C, 90 – 300°C y superiores a los 300°C respectivamente. (Olivares, 2009).

Figura 10

Instalación de colector solar por termosifón



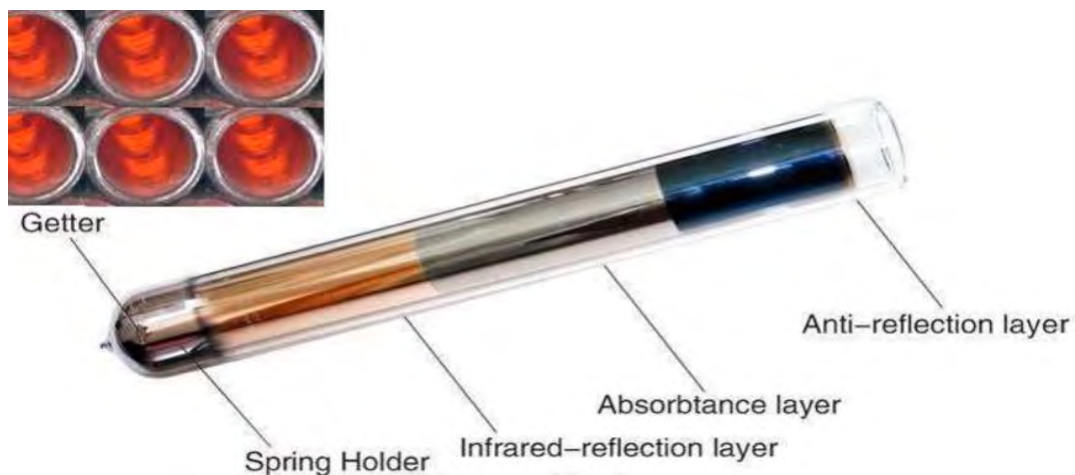
Nota. Se observa el diagrama de básico de ingreso de agua fría y salida de agua caliente para los servicios. (Salvador Escoda S.A., 2011).

2.6.1. COLECTORES SOLARES DE TUBOS AL VACÍO

Aprovecha el efecto invernadero generado al interior de la placa cuyo efecto se potencia gracias a la nula conductividad térmica debido al vacío provocado al interior de los tubos.

Figura 11

Detalles del tubo de vacío



Nota. Detalles del tubo de vacío. Adaptado de <https://www.youtube.com/watch?v=OQ1mVuwXI84>

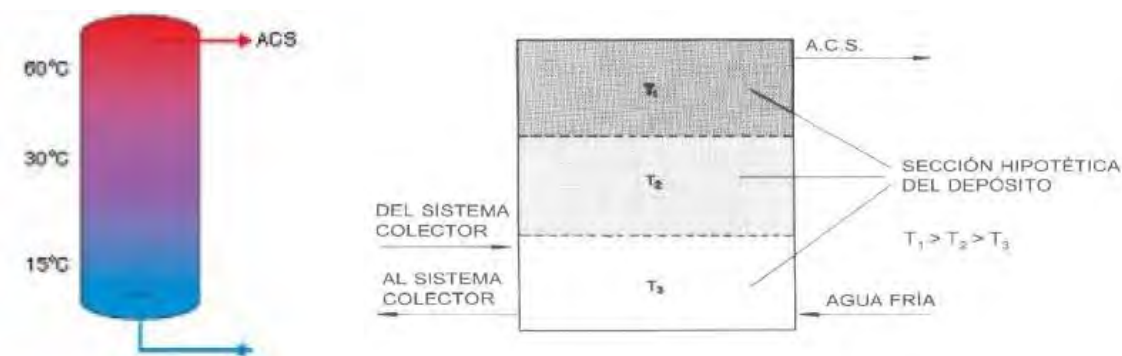
2.6.2. TANQUE ACUMULADOR DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

Este componente permite almacenar el agua previamente calentada en el panel solar, de modo que se tenga la reserva suficiente de agua caliente sanitaria disponible cuya capacidad ideal para cada caso dependerá del número de usuarios o miembros de la familia.

Se viene empleando tanques cilíndricos que permitan la estratificación del agua en sus tres niveles debido a las diferencia de densidades, para ello se prefiere que la altura de dicho cilindro sea superior al diámetro de la misma (colocado en forma vertical) de modo que el efecto termosifón que se da en el agua por la diferencia de temperaturas y de densidades sea marcada según se muestra en las figuras 12 y 13.

Figura 12

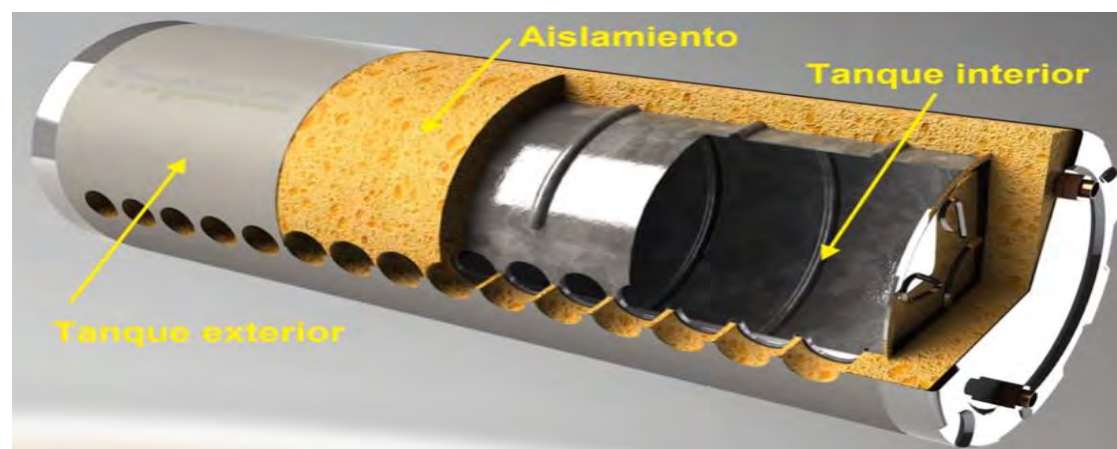
Estratificación del agua en el acumulador



Nota. Por diferencia de densidades, el agua caliente tiende a ascender.

Figura 13

Descomposición del tanque acumulador



Nota. El aislante de poliuretano cumple la función de mantener caliente el agua acumulada en el tanque. Adaptado de Agencia Anda Energía (2014)

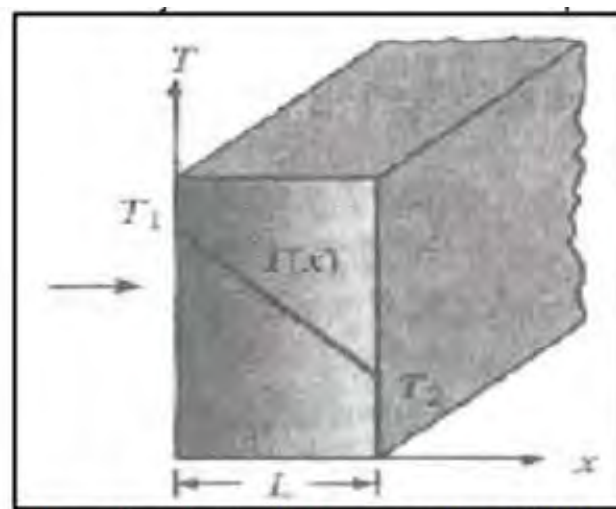
2.7. FLUJO DE CALOR

2.7.1. CONDUCCIÓN LINEAL DEL CALOR.

Está definida mediante la ley de Fourier que determina el flujo de calor desde la superficie caliente hacia una superficie fría directamente proporcional al gradiente de temperaturas e inversamente proporcional al espesor de la superficie de contacto, también proporcional al área de contacto, según se muestra en la figura 14.

Figura 14

Flujo de calor a través de una pared



Fuente: (Kreith, Manglik, Bohn, 2012)

$$q \propto \frac{\partial T}{\partial x}$$

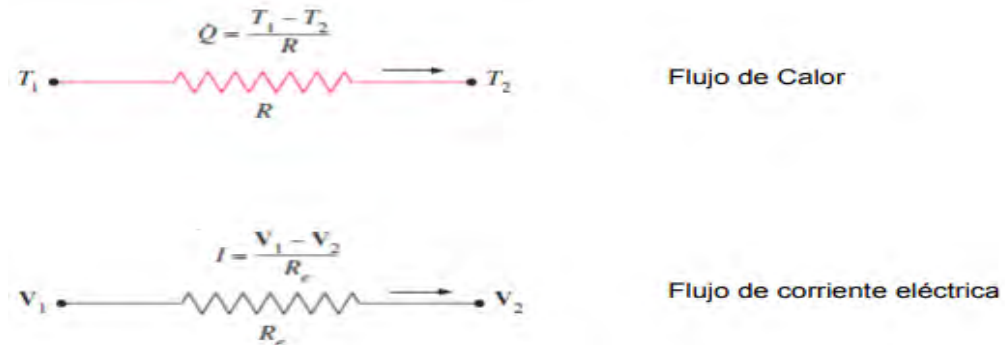
Nota. A mayor gradiente y superficie, mayor es el flujo de calor. Adaptado de Kreith, et al. (2012)

2.7.2. RESISTIVIDAD TÉRMICA

Así mismo se establece el concepto de resistencia térmica el cual representa la oposición al flujo del calor en una superficie con determinado espesor, la resistencia térmica tiene un comportamiento análogo al de la *resistencia eléctrica*, donde la resistencia global viene a ser la sumatoria de todas las demás cuando están distribuidas una seguida de otra (en serie), o como una red de resistencias, ver figuras 15 y 16.

Figura 15

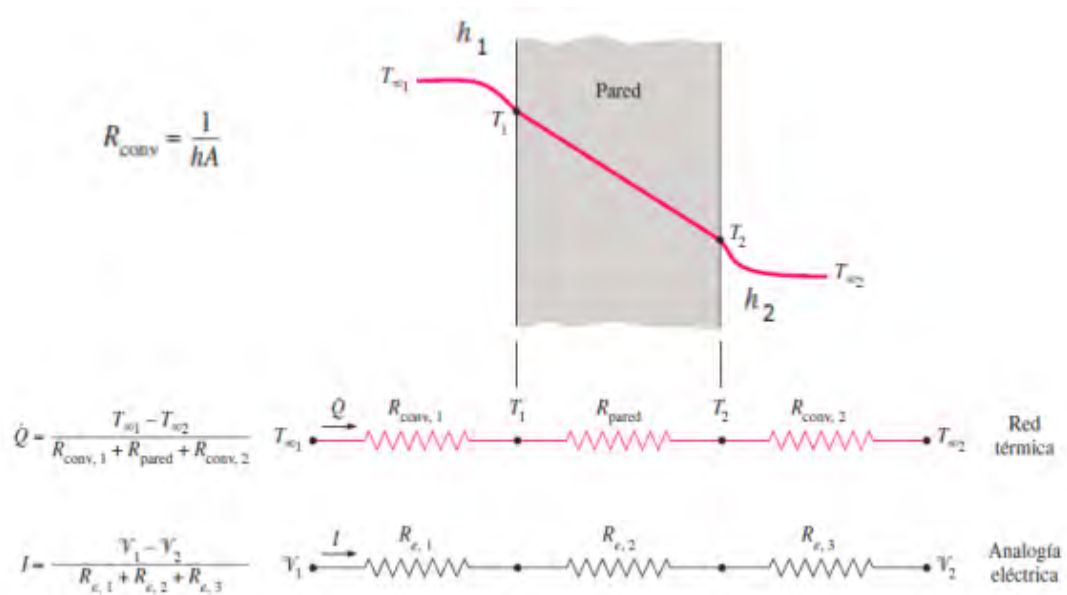
Analogía entre resistencia térmica y resistencia eléctrica



Nota. Se puede comparar con el comportamiento de una resistencia eléctrica. Adaptado de Castro (2017)

Figura 16

Red de resistencias térmicas



Nota. (Castro, 2017)

2.7.3. CALOR ESPECÍFICO

El calor específico es la cantidad de calor que hay que aplicar a una unidad de masa, como por ejemplo un metal, un plástico o la madera, para aumentar su temperatura en un grado, aunque también hay otras unidades de medida. A este término también le podemos llamar *capacidad calorífica* o *capacidad térmica*. (Rointe, 2015).

CAPÍTULO III

ELECTRIFICACIÓN DE LA VIVIENDA

3.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA VIVIENDA

La vivienda en mención, al igual que la gran mayoría de viviendas en la ciudad del Cusco, se alimenta únicamente con energía de la red pública por lo tanto cuenta con un medidor eléctrico según el cual se paga mensualmente por concepto de consumo eléctrico de manera mensual. De manera que se requiere acceder al histórico de consumos mensuales de los años anteriores para obtener el consumo promedio de la vivienda en términos de kilowatt-hora.

Ottavianelli et al., (2015) afirma:

El acceso a la energía es una de las variables de mayor peso al momento de evaluar la calidad de vida.

3.1.1. HISTÓRICO DE FACTURACIÓN POR ENERGÍA ELECTRICA EN LA VIVIENDA - ELECTRO SUR ESTE S.A.

Para obtener la información de consumo histórico se solicitó mediante documento a la empresa prestadora del servicio eléctrico Electro Sur Este, la misma que proporcionó la información con los datos de consumo y de costo mensual desde el 2016 al 2021. En la Tabla 4, se aprecia parcialmente dicha información.

Tabla 4

Referencia de histórico de facturación hasta el año 2021

Periodo	Energía	E. FOSE	CF	AP	Mtto	Repos.	Interés	Otros	IGV	Mora	E. Rural	T. Mes	Deuda	Total
202112	33.85	- 5.64	4.05	4.98	1.05	0.24	0.01	0.00	6.94	0.00	0.40	45.90	0.00	45.90
202111	48.89	- 5.64	4.06	5.38	1.05	0.24	0.02	0.00	9.72	0.00	0.57	64.30	0.00	64.30
202110	32.38	- 5.40	4.02	4.91	1.04	0.24	0.01	0.00	6.70	0.00	0.40	44.30	0.00	44.30
202109	35.21	- 5.28	3.95	4.99	1.02	0.24	0.11	0.00	7.24	0.02	0.44	47.90	0.00	47.90
202108	27.20	- 5.10	3.87	5.45	1.00	0.23	0.11	0.00	5.90	0.01	0.35	39.00	47.60	86.60
202107	34.74	- 5.01	3.78	4.98	0.99	0.22	0.05	0.23	7.19	0.00	0.46	47.60	0.00	47.60
202106	57.42	- 4.95	3.74	5.13	0.97	0.22	0.48	0.00	11.34	0.07	0.77	75.20	0.00	75.20
202105	80.31	3.45	3.72	8.51	0.97	0.22	0.34	0.00	17.58	0.01	1.05	116.30	180.00	296.30
202104	122.64	5.28	3.62	17.96	0.95	0.21	0.28	0.00	27.20	0.01	1.62	180.00	0.00	180.00
202103	103.79	4.46	3.61	16.08	0.95	0.21	0.14	0.00	23.29	0.00	1.37	154.00	0.00	154.00
202102	115.29	4.94	3.55	14.20	0.93	0.21	0.07	0.00	25.06	0.00	1.52	165.80	0.00	165.80

Periodo	Energía	E. FOSE	CF	AP	Mtto	Repos.	Interés	Otros	IGV	Mora	E. Rural	T. Mes	Deuda	Total
202101	99.90	4.20	3.52	7.77	0.93	0.21	0.52	0.00	21.10	0.08	1.32	139.70	0.00	139.70
202012	111.89	4.70	3.52	16.09	0.93	0.21	0.30	0.00	24.80	0.00	1.44	164.00	165.90	329.90
202011	112.81	4.39	3.49	17.26	0.92	0.20	0.13	0.00	25.08	0.00	1.48	165.90	0.00	165.90
202010	123.36	4.89	3.49	16.97	0.92	0.20	0.03	0.00	26.96	0.00	1.63	178.40	0.00	178.40
202009	108.34	4.04	3.49	17.73	0.92	0.20	0.08	0.63	24.04	0.04	1.40	158.90	0.00	158.90
202008	102.76	3.90	3.51	17.50	0.92	0.20	0.00	0.00	23.21	0.00	1.37	153.50	0.00	153.50
202007	100.71	3.82	3.55	18.53	0.92	0.20	0.00	0.00	23.01	0.00	1.36	152.30	0.00	152.30
202006	104.67	3.98	3.56	18.62	0.92	0.20	0.27	0.00	23.46	0.00	1.43	155.20	0.00	155.20
202005	174.02	6.62	3.56	16.09	0.92	0.20	0.09	0.00	36.30	0.00	2.37	240.30	0.00	240.30

Nota. Datos obtenidos de Electro Sur Este S.A.A.

Como se observa, los campos son por diferentes conceptos tales como Energía Ajustada, Mantenimiento, Reposición, IGV, entre otros. Así mismo se corrobora que la Energía Ajustada es la sumatoria de la Energía y la Energía FOSE. Si bien el documento fué entregado en formato PDF tuvo que ser convertido a formato excel para su procesamiento, de modo que se logró encontrar dichos valores de Energía Ajustada, la misma que, como se sabe, es afectada por conceptos tales como *alumbrado público, cargo fijo ajustado, intereses compensatorios, mantenimiento y reposición de la conexión*, según se observa en los recibos de facturación mensual. Dando un monto parcial el cual es afectado por el IGV (18%). A ello también se aplican conceptos de electrificación rural y redondeos, para finalmente determinar el monto total a pagar por parte del usuario. El histórico completo se puede ver en el anexo 12.

Con la información obtenida se generó la Tabla 5, en la cual se presentan los consumos mensuales de energía eléctrica de la vivienda correspondientes al periodo comprendido entre enero del 2016 y marzo del 2017, durante este periodo, se ha estimado que el consumo promedio mensual fue de **95.49 kWh**. De igual modo, para un mejor entendimiento se ha generado el gráfico de barras correspondiente, ver Figura 17.

Tabla 5

Histórico de consumos mensuales de energía eléctrica de la vivienda
(Enero 2016 - Marzo 2017)

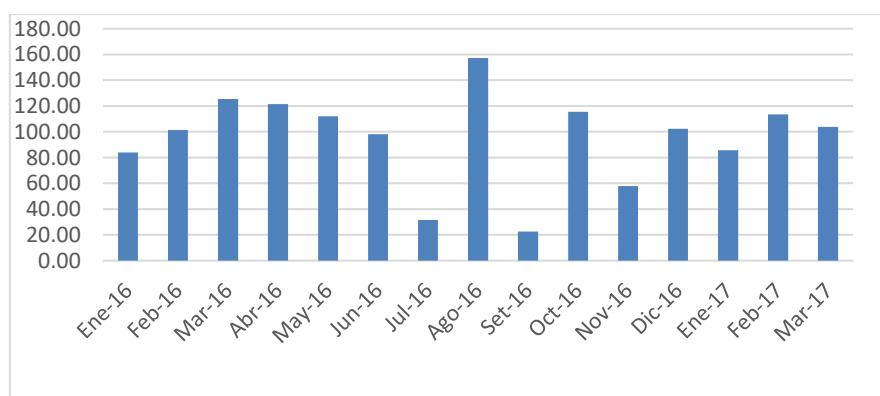
Mes	Consumo (kWh)
mar-17	103.72
feb-17	113.60
ene-17	85.63
dic-16	102.22
nov-16	57.92
oct-16	115.50
sep-16	22.52
ago-16	157.32
jul-16	31.53
jun-16	98.18
may-16	111.98
abr-16	121.42
mar-16	125.33
feb-16	101.42
ene-16	84.03
Promedio	95.49

Nota. Los valores corresponden al consumo mensual de energía de la vivienda.

Fuente: Electro Sur Este S.A.A.

Figura 17

Gráfica de barras de consumo eléctrico de ELSE S.A.A. periodo enero del 2016 - marzo del 2017



Nota. Gráfica generada con los datos consolidados en la tabla 5.

Cabe indicar que posterior a este periodo se incorpora en la vivienda una familia inquilina, compartiéndose el único medidor con lo que este incremento altera el registro de consumos de la familia titular, ver anexo 13. Donde se explican los diferentes escenarios

de consumo energético y uso compartido del medidor eléctrico para un mejor entendimiento.

3.1.2. APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS NORMALMENTE UTILIZADOS CON LA RED PÚBLICA.

A continuación, la lista de artefactos eléctricos y electrónicos que se utilizaban con la fuente eléctrica suministrada por el proveedor ELSE S.A. hasta antes de la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 6

Artefactos electrodomésticos utilizados antes de la implementación del sistema fotovoltaico

Artefactos	Cantidad	Potencia (W)
Refrigeradora	1	150
Lavadora	1	560
plancha eléctrica	1	1200
horno microondas	1	1050
Licuada	1	600
Televisor	1	110
Laptop	1	100
Lámparas	13	10
cargadores celular	3	10
TOTAL ARTEFACTOS	7	
TOTAL LÁMPARAS	13	

Nota. Se realizó un inventario de artefactos con sus respectivas potencias.

3.2. NECESIDADES ENERGÉTICAS FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE LA VIVIENDA

Con la finalidad de abastecer a la nueva demanda de energía eléctrica, adicional a los aparatos eléctricos y electrónicos mencionados, se debe incluir el equipo eléctrico de calefacción y humidificación a efectos de lograr la climatización como parte de la propuesta de estudio en la presente investigación. Por lo que la nueva demanda energética es como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Demanda energética de las cargas de la vivienda

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Horas / día	Días / semana	Energía (Wh/semana)
Laptop	1	100	1	4	400.00
Refrigerador	1	150	8	7	8400.00
TV	1	110	3	7	2310.00
Iluminación	13	10	4	7	3640.00
Cargadores	3	10	2	7	420.00
Lavadora	1	560	1	2	1120.00
Licuada	1	600	0.08	3	144.00
Microondas	1	1,050	0.16	5	840.00
Plancha eléctrica	1	1,200	0.08	3	288.00
Aire acondicionado	1	2,000	4	3	24000.00
Total consumo semanal					41,562.00
Total consumo diario					5,937.43

Nota. Se hizo el registro de cantidades, potencias y horas de uso diario de los artefactos eléctricos de la vivienda.

Esta tabla se ha elaborado con los datos extraídos de las placas de características (potencia nominal) de cada aparato o electrodoméstico, mientras que el número de horas por día y los días de uso son valores que estima el usuario en función a su experiencia diaria y a su frecuencia de uso.

Cabe indicar que estos equipos, a excepción del aire acondicionado, se encuentran en el departamento del segundo nivel, objeto de estudio.

Tal como se mencionó, para efectos de climatización en el ambiente o taller de encuadernación se considera una frecuencia de uso de 3 días, y cuatro horas por día como máximo, esto como previsión en caso se tenga que llegar a esa frecuencia de uso; sin embargo, la experiencia de trabajo en el ambiente en realidad contempla una frecuencia de uso menor, que podría establecerse de uno a dos días, con lo que se reduciría significativamente la estimación de gasto energético, teniendo en cuenta además de que *sólo se utilizará en época de invierno*, y las horas de uso normalmente oscilan entre dos a tres horas, esto siempre y cuando se tenga que realizar trabajos en horarios críticos, es decir por la mañanas a tempranas horas donde la temperatura del ambiente es considerablemente baja, cosa que solo eventualmente ocurre puesto que los horarios de trabajo son manejables

según hayan trabajos por realizar en el taller. Respecto a la potencia del equipo de climatización también se está considerando una potencia teórica considerablemente alta de 2000W ya que hay en el mercado calefactores de 800 a 1200W, esto con la finalidad de asegurar el abastecimiento de energía y a su vez tener un excedente energético de respaldo para otras aplicaciones cuando no se utilice el aire acondicionado.

3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA FOTOVOLTAICO

El dimensionamiento o cálculo del tamaño del sistema fotovoltaico, dependerá de la carga eléctrica total calculada anteriormente.

3.3.1. CÁLCULO DE CANTIDAD DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE 260W

Los paneles disponibles en el mercado al momento de la instalación fueron los de fabricación china con una potencia de 260 W cada uno, según características de la placa que se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Placa de Características técnicas del panel solar de la marca Propsolar de 260 W

PROPSOLAR Sunshine makes better life	
Model Type:	PS-M660260
Maximum Power(Pmax):	260W(0/+3%)
Voltage at Pmax(Vmp):	30.81V
Current at Pmax(Impp)	8.44A
Open-circuit voltage(Voc):	38.08V
Short-circuit current(Isc)	8.92A
Maximum Fuse:	15A
Maximum system voltage:	1000V
Weight:	16.5KG
Dimensions:	1640×990×35mm
Standard Test Condition: 1000W/m ² , 25°C, AM1.5	
SGS TÜV SAAR IEC 61215 IEC 61730 Product certified	 WARNING Hazardous Electricity Can Shock, Burn or Cause Death Do Not Touch Terminals
MADE IN CHINA	

Nota. Fotografía de la placa de uno de los seis paneles solares que se dispón.

Para calcular la potencia requerida haremos uso de la siguiente expresión según refiere (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018):

$$P_{Gmin} = \frac{PR \times W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}} \quad (3.1)$$

Donde:

G_{CEM} : Irradiancia en condiciones estándar (1000 W/m²).

$$W_d = 5937.43 \text{ Wh.}$$

$$G_{dm} = 5340 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}.$$

$PR = 1.2$ factor de pérdidas (Con inversor, batería y regulador de carga).

$$P_{Gmin} = \frac{PR \times W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}} = \frac{1.2 \times 5937.43 \times 1000}{5340} = 1334.25 \text{ watt}$$

Obtenido el valor total de la potencia necesaria para abastecer a toda nuestra demanda, ahora calculamos el número de paneles fotovoltaicos necesarios, teniendo en cuenta que los paneles de 260W son los que se encontraban comercialmente difundidos, al momento de la implementación del sistema en Perú, para instalaciones de este tipo, por lo que los proveedores de estos kits de instalación lo ofertaban debido a su buen rendimiento y gran aceptación.

$$\# \text{paneles} = 1334.25 \text{ W} / 260 \text{ W} = 5.13 \cong 6.$$

#paneles = 6 (seis paneles de 260W cubrirán los 1334.35W calculados)

Para esta parte, se utiliza el valor de la potencia indicada en la placa solar (260 W), la cual es la potencia real del panel solar, y no la constante solar (1000 W/m²), ello debido a la eficiencia y al área de la misma. De igual manera se utiliza el valor promedio de la irradiación o lo que es lo mismo decir la hora solar pico multiplicada por la irradiancia en condiciones estándar. Ver Anexo 15.

Hacemos ahora la prueba para el mes más desfavorable en cuanto a radiación solar donde $G_{dm} = 4950 \text{ Wh/m}^2$, según la figura 54, correspondiente al mes de Junio.

$$P_{Gmin} = \frac{PR \times W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}} = \frac{1.2 \times 5937.43 \times 1000}{4950} = 1439.38 \text{ watt}$$

$$\# \text{paneles} = 1439.38 / 260 = 5.54 \cong 6$$

3.3.1.1. CAPACIDAD DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO Y EXCEDENTE DE ENERGÍA GENERADA.

La capacidad total de generación del sistema se obtiene multiplicando la potencia de cada panel, la cantidad de paneles y la hora solar pico. De modo que para nuestro caso sería:

$$W = 260 \times 6 \times 5.34$$

$$W = 8330.4 \text{ Wh}$$

$$\mathbf{W = 8.33 \text{ kWh}}$$

Donde:

W: Capacidad total del sistema fotovoltaico en Wh

Por otro lado el excedente de energía generada sería la diferencia entre la capacidad real del generador y de la demanda energética.

$$Exc = W - W_d$$

$$Exc = 8330.4 - 5937.43$$

$$\mathbf{Exc = 2392.97 \text{ Wh}}$$

Donde, Exc: Energía excedente.

Teniendo en cuenta que una vivienda urbana o departamento familiar tiene un consumo promedio de 4.5kWh, el valor obtenido de 8.33kWh resulta bastante atractivo, lo que lo que claramente permite diversificar el uso de varios aparatos eléctricos adicionales.

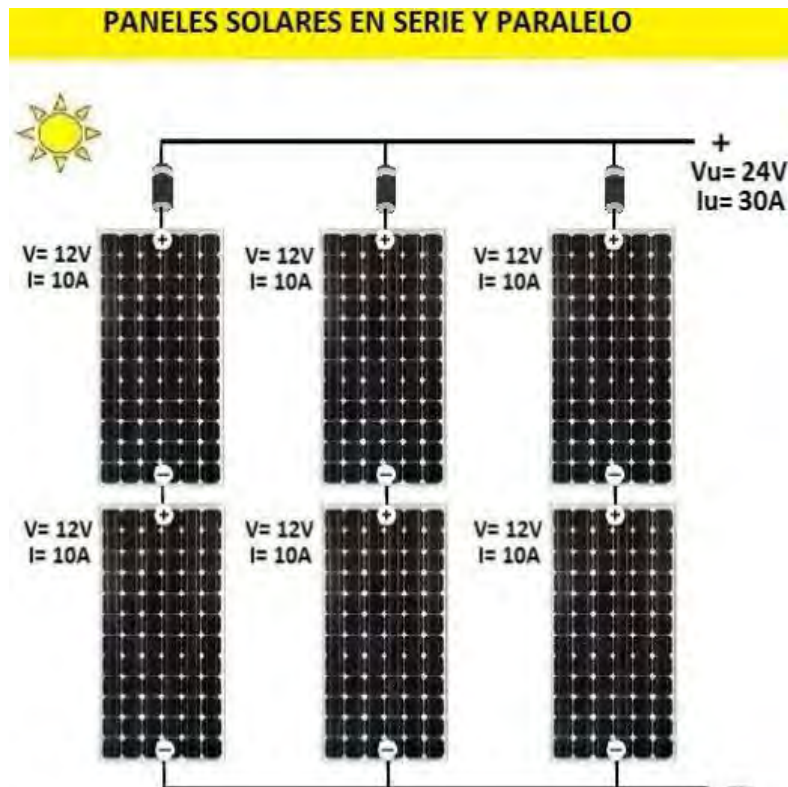
Al 2018, Lima metropolitana fue la zona residencial que mayor consumo alcanzó con una media mensual de 135kWh debido a la mayor cantidad de usos de aparatos eléctricos respecto a otras zonas estimada. (OSINERGMIN, 2018)

Tomando este valor, se tiene que el consumo diario sería $135/30 = \mathbf{4.5 \text{ kWh}}$

De modo que, incluso para el valor de radiación solar más desfavorable correspondiente al mes de junio, se tiene que con estos seis paneles se logra abastecer suficientemente la demanda de energía domiciliaria. Para nuestro caso la configuración conveniente de estos seis paneles fotovoltaicos será la del tipo serie paralelo tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 19

Configuración serie – paralelo de los paneles fotovoltaicos



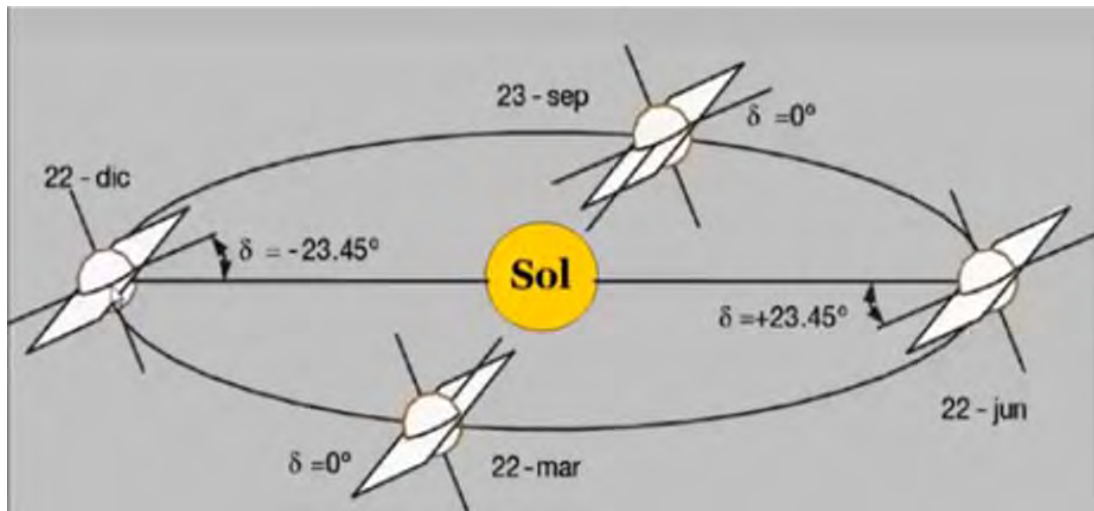
Nota. Tres arreglos de dos paneles fotovoltaicos en serie, óptimo para el mejor funcionamiento del sistema.

3.3.1.2. INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

La inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos es aquella que nos permitirá una mejor captación de la energía solar, la cual deberá procurar orientar el plano del captador a 90° respecto a la incidencia de los rayos solares. Sin embargo, debido a la declinación terrestre y al cambio de posición de nuestro planeta durante el movimiento de traslación, la cual define las estaciones, este ángulo va cambiando permanentemente con lo que se suele emplear una inclinación que sea la más óptima para todo el año. Este fenómeno de variación angular se aprecia en la Figura 20.

Figura 20

Variación de la declinación solar anual



Nota. Adaptado de Electricidad y matemáticas (2018)

La expresión que determina la declinación para cualquier día del año:

FÓRMULA DE LA
DECLINACIÓN SOLAR

$$\delta = 23.45^{\circ} \sin \left[\frac{360(d_n + 284)}{365} \right]$$

(3.2)

Fuente: (Electricidad y matemáticas, 2018)

Donde, d_n : cualquier día del año desde 1 hasta 365.

Lo que a su vez incluye en la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos a fin de asegurar una mejor captación de los rayos solares, procurando la perpendicularidad de la misma sobre la superficie de los paneles, según se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8
Inclinación óptima de paneles

MES	DÍAS DEL MES	DÍAS DEL AÑO	DECLINACIÓN SOLAR (δ)		CÁLCULO INCLINACIÓN ÓPTIMA (β)	ESTACIÓN DEL AÑO
ENERO	1	1	-23.01	23.01	36.54	VERANO
ENERO	31	31	-17.78	17.78	31.31	VERANO
FEBRERO	1	32	-17.52	17.52	31.05	VERANO
FEBRERO	28	59	-8.67	8.67	22.2	VERANO
MARZO	1	60	-8.3	8.3	21.83	VERANO
MARZO	20	79	-0.81	0.81	14.34	VERANO
MARZO	21	80	-0.41	0.41	13.94	EQUINOCCIO DE OTOÑO
MARZO	31	90	3.61	3.61	17.15	OTOÑO
ABRIL	1	91	4.01	4.01	17.54	OTOÑO
ABRIL	30	120	14.58	14.58	28.11	OTOÑO
MAYO	1	121	14.9	14.9	28.43	OTOÑO
MAYO	31	151	21.9	21.9	35.43	OTOÑO
JUNIO	1	152	22.04	22.04	35.57	OTOÑO
JUNIO	21	172	23.45	23.45	36.98	OTOÑO
JUNIO	22	173	23.45	23.45	36.98	SOLSTICIO DE INVIERNO
JUNIO	30	181	23.19	23.19	36.72	INVIERNO
JULIO	1	182	23.12	23.12	36.65	INVIERNO
JULIO	31	212	18.17	18.17	31.7	INVIERNO
AGOSTO	1	213	17.92	17.92	31.45	INVIERNO
AGOSTO	31	243	8.11	8.11	21.64	INVIERNO
SEPTIEMBRE	1	244	7.73	7.73	21.26	INVIERNO
SEPTIEMBRE	22	265	-0.6	0.6	14.13	INVIERNO
SEPTIEMBRE	23	266	-1	1	14.53	EQUINOCCIO DE PRIMAVERA
SEPTIEMBRE	30	273	-3.81	3.81	17.34	PRIMAVERA
OCTUBRE	1	274	-4.21	4.21	17.74	PRIMAVERA
OCTUBRE	31	304	-15.05	15.05	28.58	PRIMAVERA
NOVIEMBRE	1	305	-15.36	15.36	28.89	PRIMAVERA
NOVIEMBRE	30	334	-21.97	21.97	35.5	PRIMAVERA
DICIEMBRE	1	335	-22.11	22.11	35.64	PRIMAVERA
DICIEMBRE	21	355	-23.45	23.45	36.98	PRIMAVERA
DICIEMBRE	22	356	-23.44	23.44	36.98	SOLSTICIO DE VERANO
DICIEMBRE	31	365	-23.09	23.09	36.62	VERANO
INCLINACIÓN ÓPTIMA PROMEDIO					28.46	

Nota. Adaptado de Diaz Barragán & Tinta Gutierrez (2017)

De modo que el ángulo óptimo se calcula sumando la latitud con el ángulo de declinación respectivo. La tabla 8 muestra la variación del ángulo de inclinación óptima durante el año para cada mes dónde se determina el ángulo de inclinación óptimo con un valor promedio de **28.46°**.

Dado que es conveniente tener una estructura que soporte a los paneles fotovoltaicos capaz de adaptarse a la variación del ángulo óptimo, hemos diseñado tal estructura con la maniobrabilidad deseada de modo que procuremos un mejor aprovechamiento que con una estructura rígida durante todo el año.

3.3.2. CÁLCULO DE CANTIDAD DE ACUMULADORES (BATERÍAS).

Tal como se ha visto en el procedimiento anterior, el sistema fotovoltaico es capaz de generar suficiente energía para atender la demanda total mientras se generan en los seis paneles fotovoltaicos, es decir durante el día con la cantidad de horas solar pico considerada para nuestro caso. Sin embargo, para el resto de horas (horas sin luz solar) es necesario tener un sistema capaz de almacenar la energía producida de modo que la entregue en horas en las que ya no contamos con la energía solar directa. Para ello debemos dimensionar la cantidad de baterías necesario en virtud de su capacidad de almacenamiento en Ah (Amperios hora) Sabiendo que en el mercado los proveedores ofrecen acumuladores de diferentes capacidades y de diferentes costos. Los más comerciales son los de 100Ah, 150Ah, 200Ah, 250 Ah, y los de 300 Ah.

Para efectos de cálculo, nuevamente consideramos el valor promedio de la radiación solar diaria de 5.34 kWh/m². Pero antes, calculamos en primer lugar la demanda de energía por hora promedio:

$$P = \frac{W_d}{24}$$

$$P = \frac{5937.43}{24}$$

$$P = 247.39W$$

Ahora bien, sabiendo que esa es la cantidad de energía por hora que se requiere, y además sabiendo que las horas en las que no se tiene luz solar (horas en las que la batería

debe proveer de energía al sistema) sería la diferencia entre las 24 horas del día y 5.34 (hora solar pico promedio del año) de modo que:

$$H = 24 - 5.34 = \mathbf{18.66 \text{ h.}}$$

Donde H: horas de servicio de la batería o autonomía promedio del sistema.

Entonces la energía necesaria para abastecer durante las 18.66 horas será:

$$E_{\text{total}} = 247.39 \text{ Wh/h} \times 18.66 \text{ h}$$

$$E_{\text{total}} = \mathbf{4616.29 \text{ Wh}}$$

Donde, E_{total} : Energía de autonomía

Sin embargo, según lo calculado respecto al excedente de energía generado por la diferencia entre la capacidad real del generador fotovoltaico y la demanda:

$$E_{\text{xc}} = \mathbf{2392.97 \text{ Wh}}$$

De manera global, este excedente permite reducir la cantidad de energía que se debe almacenar diariamente, de modo que lo que realmente se necesita almacenar sería:

$$E_{\text{Alm}} = E_{\text{total}} - E_{\text{xc}}$$

$$E_{\text{Alm}} = \mathbf{4616.29 \text{ Wh} - 2392.97 \text{ Wh}}$$

$$E_{\text{Alm}} = \mathbf{2223.32 \text{ Wh}}$$

Dicha cantidad de energía excedente deberá ser almacenada en el banco de baterías la cual sirve de respaldo energético adicional necesario.

De las baterías citadas anteriormente se eligieron las de 300Ah por un tema de mejor oferta económica al momento de la adquisición y facilidad en la instalación. Ver Figura 21.

Otra manera de validar este cálculo es considerando el consumo netamente nocturno, el cual está integrado por los aparatos tales como: refrigerador, televisor, lámparas y microondas cuya carga total es de 1867 Wh , el mismo que es inferior a 2223.32 Wh , correspondiente a la energía que se consigue almacenar en las baterías. ver anexo 18.

Figura 21

Características técnicas de la batería de gel de marca Tensite de 300 Ah y 12 V



Nota. Imagen de la misma batería que muestra las características técnicas de importancia.

Ahora, considerando las características de una batería de 300 Ah y de 12 V, se tendría que la capacidad de almacenamiento sería el producto del voltaje y de su capacidad en Ah:

$$E_{bat} = 300 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 3600 \text{ Wh}$$

Siendo E_{bat} : Capacidad de almacenamiento de la batería en Wh

Para encontrar la cantidad de baterías dividimos la energía de almacenamiento anteriormente calculada, entre la energía de cada batería:

baterías = $2223.32 \text{ Wh} / 3600 \text{ Wh} = 0.617$; siendo así, redondeamos al entero superior inmediato:

$$\# \text{ baterías} = 0.617 \cong 1$$

Sin embargo, tomando en cuenta que estas baterías de gel, según recomendaciones del fabricante, deben trabajar a una descarga del 50%, se tendría que duplicar la cantidad de baterías a fin de que éstas no sufran daños. Por lo que serán necesarias considerar 2 baterías y conectadas en serie de modo que también se logre los 24V que exige el inversor para su funcionamiento, por lo que:

$$\# \text{ baterías} = 2$$

De modo que con las dos baterías de 300Ah cada una, lograremos abastecer suficientemente la demanda de energía durante el tiempo en el que no dispongamos de energía solar directa.

Debemos notar que en la práctica, y por tratarse de una vivienda familiar, el gasto energético durante esas horas de descanso que van desde las 10 hasta las 12 horas aproximadamente, se reduce significativamente, ya que se deja de utilizar los aparatos de mayor consumo energético quedando en funcionamiento únicamente las lámparas, que son de baja potencia respecto a los otros artefactos eléctricos de mayor potencia que se utilizan principalmente durante el día.

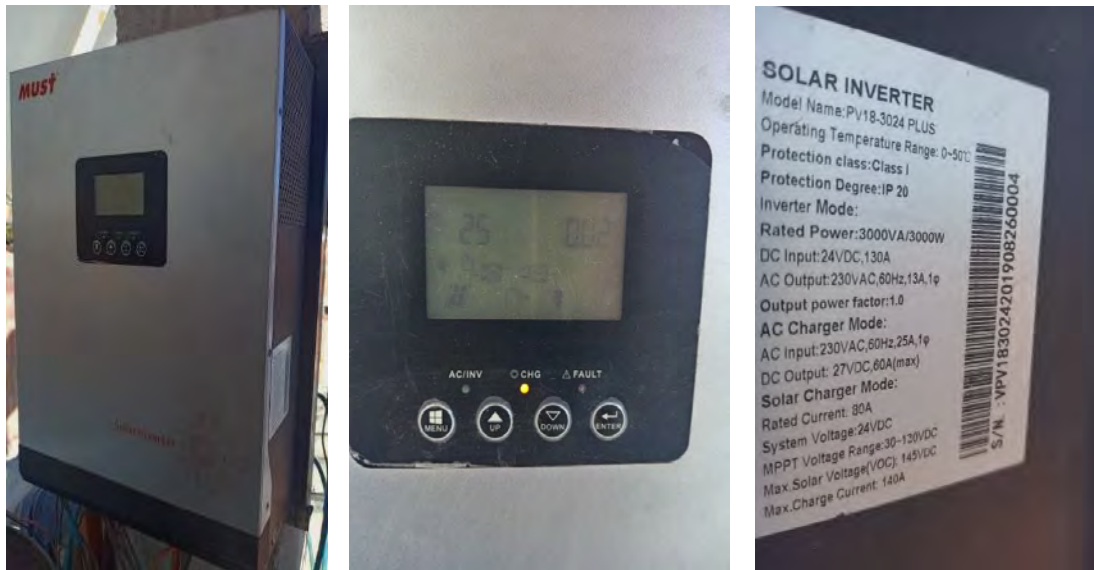
Además, se debe tomar en cuenta que la carga inicialmente calculada de **5937.43Wh** es de un valor extremo por las razones ya explicadas, y de la misma manera, se está redondeando el valor teórico calculado de la cantidad de baterías de **1.24 a 2 baterías**. Ambas situaciones otorgan un respaldo energético para asegurar el normal funcionamiento del sistema eléctrico.

3.3.3. SELECCIÓN DEL INVERSOR - CARGADOR

Basados en la necesidad de contar con un equipo regulador - inversor capaz de controlar la carga generada en los paneles fotovoltaicos para su uso directo, para la carga de los acumuladores, para la conversión de la corriente continua generada en corriente alterna para el uso domiciliario, para activar la conexión automática de respaldo de la energía de la red pública de ser necesario, entre otras funciones; para nuestro caso se va a elegir al *inversor de 3000W, 24V, 80 A, MPPT, en la marca MUST SOLAR*, recomendado por su buena respuesta a demandas de carga que involucran impedancias y resistencias eléctricas de gran consumo como los equipos de aire acondicionado, planchas, microondas, lavadoras, hornos eléctricos, cocinas a inducción y otros similares. Ver figura 22.

Figura 22

Características técnicas del inversor cargador de 3000 W



Nota. Imagen del inversor cargador donde se visualizan las características técnicas de importancia.

Tomando en cuenta que el equipo de mayor potencia es de 2000 W, se debe asegurar que el inversor sea capaz de proporcionar dicha potencia, sin embargo por simultaneidad de funcionamiento de equipos de alta potencia de la lista de aparatos eléctricos es recomendable utilizar un inversor de 3000W y a su vez disponible en el mercado al momento de la implementación del sistema. Además también este tipo de inversor permitirá ampliar la capacidad del sistema en función de la cantidad de paneles que se pudiera incrementar para futuras aplicaciones según se requiera. Ver anexo 3 para visualizar esquema de conexiones eléctricas entre inversor, paneles solares y baterías.

3.3.3.1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE COBRE

Sabiendo que la capacidad del par de baterías es de 3600Wh, hacemos la prueba de funcionamiento considerando el máximo real de potencia de 2000W correspondientes al funcionamiento del sistema de aire acondicionado el mismo que tiene una autonomía de 1.8 horas, ello se obtiene dividiendo estos valores mencionados; y además, sabiendo que las dos baterías en serie hacen 24V, entonces:

$$V \cdot I \cdot t = 3600 \text{ Wh}$$

Donde, V: voltaje del par de baterías 24V

I: corriente eléctrica en amperios.

t: tiempo de autonomía en horas

Entonces despejando I, se tiene que: $I = 3600\text{Wh} / (24\text{V} \cdot 1.8\text{h})$;

$$I = 83.33\text{A} < 95\text{A}$$

De modo que para las conexiones entre batería e inversor se utilizan cable 2 AWG tipo, mientras que para los paneles y el inversor se utiliza cable solar N° 10 con doble protección. Ver anexo 14 para visualizar tabla de valores de capacidades de conductores según calibre.

Respecto al cable conductor que alimenta a la vivienda en corriente alterna de 220V se ha considerado cable eléctrico Nro 12 en vista que es capaz de resistir hasta 20A de corriente eléctrica de modo que no haya problemas de recalentamiento. Se puede probar el valor de la máxima corriente asumiendo la máxima potencia del inversor de 3000W a 220 V que genera el sistema de modo que podemos obtener el amperaje haciendo la división:

$$I = P/V ; \quad I = 3000\text{W}/220\text{V} \quad \text{de donde } I = 13.6 \text{ A}; \quad 13.6\text{A} < 20\text{A}$$

Dicho valor máximo de corriente es inferior a la capacidad del conductor N° 12 elegido.

3.3.3.2. CÁLCULO DE LLAVE TERMOMAGNÉTICA GENERAL

Con el valor del amperaje máximo calculado de 13.6A se considera entonces una llave termomagnética que tenga en valor superior a este amperaje a fin de que pueda trabajar con normalidad, en este caso se consideró una llave de **16A > 13.6A**, suficiente para soportar la corriente eléctrica circundante en la vivienda.

3.4. CANTIDAD DE APARATOS ELÉCTRICOS DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Según se puede estimar el excedente de energía que se genera de la diferencia entre lo que el sistema fotovoltaico produce y la demanda calculada, se debe tomar en cuenta también que el aire acondicionado no funciona todos los días de modo que en esos días principalmente se puede diversificar el uso de otros aparatos eléctricos adicionales que no estaban inicialmente contemplados en la propuesta de diseño de la presente investigación.

A continuación se detalla la cantidad de aparatos eléctricos luego de la implementación del sistema, según la Tabla 9.

Tabla 9

Ampliación de artefactos electrodomésticos utilizados después de la implementación del sistema fotovoltaico

Artefactos	Cantidad	Potencia (W)
refrigeradora	1	150
lavadora	1	560
plancha eléctrica	1	1200
horno microondas	1	1050
licuadora	1	600
televisor	1	110
laptop	1	100
lámparas	13	10
cargadores celular	3	10
cocina a inducción	1	1000
calefactor eléctrico	2	800
humidificador	1	300
horno eléctrico	1	1500
batidora	1	150
olla arrocera	1	350
scooter eléctrico	1	180
bicicleta eléctrica	1	300
laptop	1	65
lámparas	10	10
Total artefactos	19	
Total lámparas	22	

Nota. Se realizó un nuevo inventario de artefactos con sus respectivas potencias.

El excedente energético generado permite incrementar el uso de nuevos aparatos eléctricos entre los que destacan *la cocina a inducción* la misma que sirve para la preparación de los almuerzos principalmente lo que lo convierte en un aparato crítico entre los demás, ya que al ser utilizado en horas en la que justamente se tiene mayor radiación solar, esto permite reducir el consumo de GLP de manera significativa, y tomando en cuenta que la preparación de los almuerzos es la que más toma tiempo, frente al tiempo que toma preparar el desayuno o la cena, la cocina a inducción se convierte en un aparato de gran utilidad que genera ahorros a la economía familiar. Ver Figura 23.

Figura 23

Cocina a inducción para la preparación de almuerzos



Nota. Cocina a inducción de potencia graduable que va desde los 200 W a 2000W,

De la misma manera otro aparato eléctrico interesante de evaluar es la scooter o bicicleta eléctrica, la misma que usándose de manera diaria para desplazarse en la ciudad genera ahorros por concepto de pasaje en transporte urbano que se suprime al utilizar la bicicleta eléctrica la cual se recarga a diario con la energía producida por los paneles fotovoltaicos.

En resumen el sistema fotovoltaico de generación eléctrica queda definido por seis paneles de 260W cada uno (ver Figura 24), dos acumuladores o baterías de 300Ah cada uno, un inversor-cargador de 3000W y 24V, y los accesorios para las conexiones entre estos componentes.

Figura 24

Sistema fotovoltaico de 6 paneles.



Nota. Seis paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino.

3.5. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS PARA MONITOREO Y REGISTRO DE PARÁMETROS DE CONSUMO Y GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Se dispone de un sistema de transmisión, registro, monitorización y sistematización de datos en tiempo real mediante la unidad RTU Wifi, que se encarga de registrar los datos del comportamiento del sistema y subirlos a la nube la cual vincula directamente a la página www.shinemonitor.com, en la que se centralizan y sistematizan los parámetros de funcionamiento del sistema generando una importante data, con los cuales se generan tablas, curvas y gráficos estadísticos los mismos que nos permiten visualizar los valores tales como potencia generada, potencia consumida, energía acumulada a lo largo de una línea de tiempo horario, diario, mensual e incluso anual. Así mismo podemos visualizar otros valores como: nivel de carga de la batería, de manera diaria, mensual y anual, de modo que esto facilite el monitoreo e interpretación de los datos con la finalidad de llevar, por ejemplo, el registro de los consumos de energía y poder identificar y proponer opciones de mejora u optimización en el aprovechamiento de la energía generada a través de una adecuada racionalización de la misma, con lo que podemos diversificar el uso de los aparatos electrodomésticos en función de una energía generada excedente logrando a

su vez alcanzar una mejor calidad de vida el cual se manifiesta a través del uso de variedad de aparatos eléctricos como cocina a inducción, horno eléctrico, scooter eléctrico, herramientas de construcción eléctricas, las mismas que en condiciones normales y con la energía tradicional, no se podría disfrutar, sin que esto represente un alto costo reflejado en una facturación mensual excesiva por parte del proveedor de energía eléctrica en la ciudad.

Además de lo mencionado antes, este sistema de monitoreo permite advertir de posibles daños o disfunciones en el desempeño de manera oportuna con lo cual podemos tomar acciones correctivas a tiempo que nos ayuden a evitar daños o complicaciones con la operación del sistema de generación eléctrica.

Este sistema de monitoreo también se propone llevar el registro de CO₂ evitados, así como el costo de ahorro acumulado por concepto de uso de la energía renovable toda vez que se trata de un sistema aislado y autónomo en cuanto a su generación de energía para la vivienda en mención.

3.5.1. REGISTRO Y ALTA DE DATOS POR EL SISTEMA DE CONTROL RTU WIFI:

El sistema RTU Wifi almacena datos en la nube a través de su plataforma www.shinemonitor.com y los diferentes parámetros cada cinco minutos, tales como: voltaje de la batería, voltaje del sistema fotovoltaico o de generación, voltaje del inversor, corriente del sistema de acumulación o baterías, corriente de cargador o sistema de generación, potencia del sistema de generación y potencia de la carga o demanda. La plataforma donde se cargan todos estos datos está diseñado para que el usuario tenga una interacción amigable e intuitiva con el sistema, permitiendo el acceso, visualización y descarga de los datos en cualquier momento desde el computador o laptop donde se tenga instalado el sistema de monitoreo. Ver figura 25.

Figura 25

Registro de datos en el sistema de almacenamiento shinemonitor.com

The screenshot shows the 'Device Management' tab in the shinemonitor.com interface. On the left, a sidebar lists 'RTU PRADA' and 'Inverter', with 'INVERSOR PRADA' selected. The main area displays a table of real-time data for the selected device. The table has columns for Timestamp, Battery Voltage(V), PV Voltage(V), Inverter Voltage(V), Batt Current(A), Charger Current(A), Charger Power(W), and PLoad(W). The data is for the date 2021-06-01, and the table shows 16 rows of data points.

Timestamp	Battery Voltage(V)	PV Voltage(V)	Inverter Voltage(V)	Batt Current(A)	Charger Current(A)	Charger Power(W)	PLoad(W)
2021-06-01 16:17:53	24.7	0.0	219.7	11	0.0	0	193
2021-06-01 16:10:36	24.9	0.0	219.8	19	0.0	0	103
2021-06-01 16:05:45	24.9	0.0	219.8	8	0.0	0	97
2021-06-01 16:00:55	24.7	0.0	219.9	60	0.0	0	371
2021-06-01 17:56:03	24.8	0.0	219.7	12	0.0	0	214
2021-06-01 17:53:02	24.9	0.0	219.8	8	0.0	0	110
2021-06-01 17:48:11	24.8	14.9	219.8	12	0.0	0	197
2021-06-01 17:43:22	25.0	29.4	219.8	7	0.0	0	67
2021-06-01 17:34:59	25.0	29.3	219.8	6	0.0	0	65
2021-06-01 17:30:08	24.9	29.3	219.8	11	0.0	0	176
2021-06-01 17:25:16	25.0	29.4	219.8	6	0.0	0	63
2021-06-01 17:20:25	25.0	29.4	219.9	7	0.0	0	63
2021-06-01 17:16:56	24.9	29.3	219.8	11	0.0	0	181
2021-06-01 17:12:07	25.1	29.4	219.8	6	0.0	0	60
2021-06-01 17:07:16	25.1	29.4	219.8	7	0.0	0	72

Nota. Monitoreo de la información generada por el sistema de transmisión de datos.

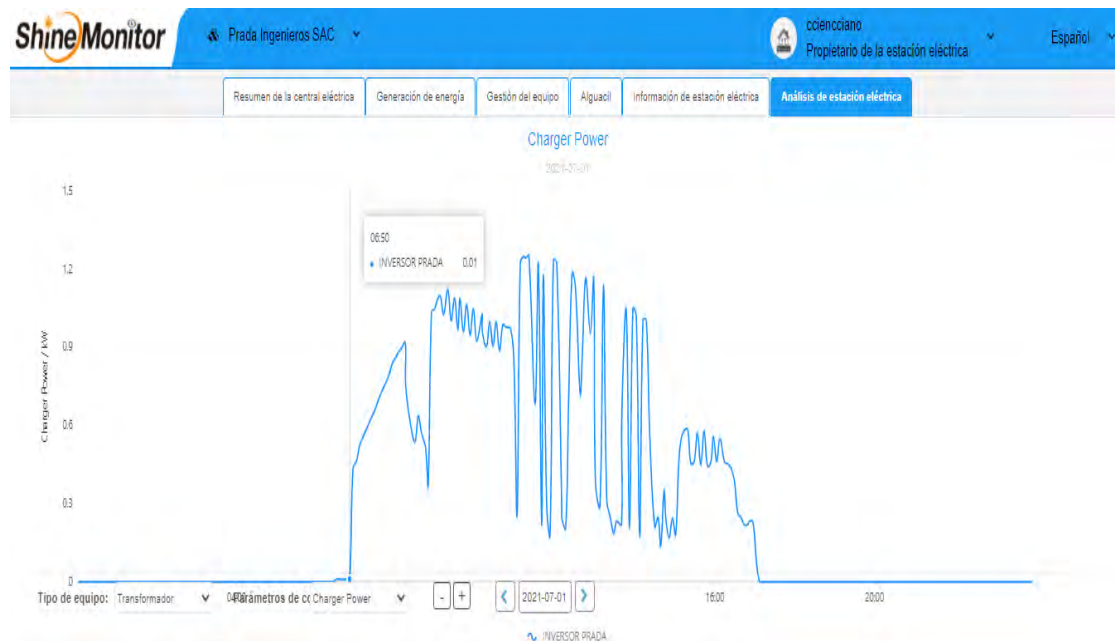
El sistema cuenta con la opción de exportación de datos al Excel, lo cual permite realizar tratamientos a fin de lograr un mejor análisis e interpretación de los mismos en caso se requiera.

3.5.2. CURVA DE LA POTENCIA GENERADA RESPECTO AL TIEMPO EN KW

Como se sabe, la potencia que genera el sistema sólo es posible en presencia de luz solar, y para el caso mostrado esto se da con los primeros rayos de luz que inciden sobre el conjunto de paneles fotovoltaicos, que en este caso ocurre a partir de las 6:50 am en adelante y durante todo el día hasta el ocaso del astro sol, en el ejemplo abajo es del 01 de Julio del 2021 y se registra hasta las 5:07 pm. También es importante señalar que la energía producida por el sistema durante el día, matemáticamente, estaría representada por el área bajo la curva, la cual es expresada en kWh, y tal como se observa en la Figura 26 correspondiente al consumo del mes de Julio, es de 7kwh.

Figura 26

Curva de potencia generada a lo largo del día, shinemonitor.com



Nota. El comportamiento marcadamente oscilante, en el medio de la gráfica, corresponde al uso de la cocina a inducción. Extraído de shinemonitor.com.

Cabe resaltar que la potencia que genera el sistema se autoregula en función de la demanda, de modo que a mayor demanda o carga mayor será la energía que el sistema debe generar para satisfacer o cubrir la demanda de potencia requerida para cada instante.

3.5.3. CURVA DE LA POTENCIA DE DEMANDA (CARGAS) RESPECTO AL TIEMPO EN KW

Representa a la sumatoria de las potencias de los artefactos y dispositivos eléctricos que están en uso los cuales consumen una determinada potencia. De modo que, a diferencia de la gráfica anterior, el área bajo la curva representaría la energía de demanda o carga, la cual, tal como se aprecia en algunos tramos de la Figura 27, está incluso por encima de la curva de generación, se entiende entonces que para esos instantes, la batería aporta energía al sistema a fin de que se pueda cubrir con la energía demandada por las cargas; por lo demás la potencia generada es capaz de abastecer al sistema a su vez que carga al sistema de almacenamiento o conjunto de baterías.

Figura 27

Curva de potencia de consumo a lo largo del día, shinemonitor.com



Nota. Diferentes aparatos eléctricos, describen diferentes curvas según su naturaleza.
adaptado de shinemonitor.com.

3.5.4. CURVAS DE POTENCIA GENERADA VS POTENCIA DE CARGA

Viene a ser la superposición de ambas curvas antes descritas que el sistema permite mostrar de tal manera que se pueda hacer el comparativo entre lo que se genera y lo que se consume para cada instante a lo largo del día. Tal como se puede apreciar en la figura 28, la curva de potencia generada (en celeste) tiende a estar por encima de la curva de demanda (color verde) puesto que el sistema reconoce automáticamente las cargas y, en virtud de ello, genera la energía necesaria para atender dicha demanda. Sin embargo se puede apreciar que en determinado instante, la curva de potencia generada está por debajo de la curva de demanda, y es ahí que el sistema recurre al uso de la energía de los acumuladores o baterías, con lo que éste logra atender y cubrir la demanda exigida por la cargas o consumos que ocurren durante esos intervalos de tiempo. También se puede apreciar que para los tramos en los que no hay potencia generada, se observa que la potencia de demanda estaría siendo atendida a expensas del sistema de acumulación o baterías, en este caso sería antes de las 6:50 am y posterior a las 5:07 pm, tal como se puede observar en la Figura 28.

Figura 28

Curvas de potencia generada y de consumo a lo largo del día, shinemonitor.com



Nota. La curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico, en celeste y la curva de consumo de los aparatos eléctricos, en verde. Extraído de shinemonitor.com.

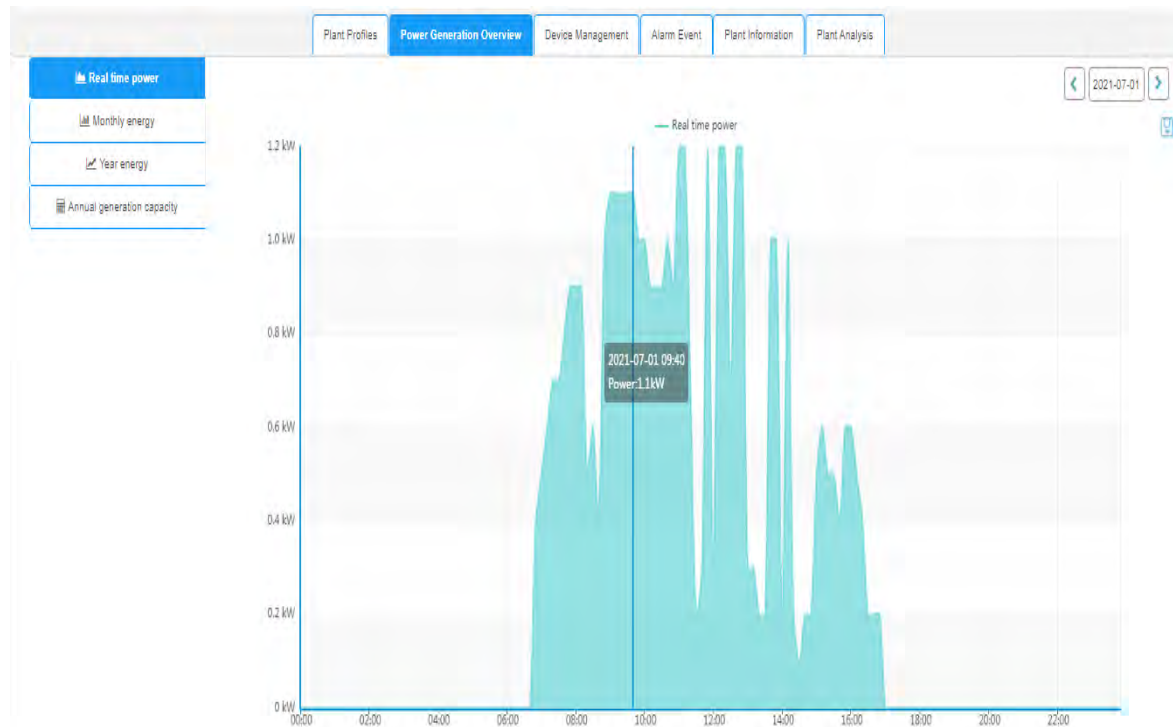
Nótese los picos de funcionamiento de aparatos inductivos como refrigerador y cocina a inducción, los mismos que el sistema es capaz de atender y cubrir dichas exigencias. El lado medio de grandes picos y declives profundos corresponden a la cocina a inducción mientras que al lado izquierdo de esta curva se visualiza el funcionamiento sinuoso del refrigerador conjuntamente con el del calefactor.

3.5.5. GRÁFICA DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL SISTEMA DE GENERACIÓN

El área bajo la curva de potencia generada representa la energía que ha sido capaz de generar el sistema durante el día, la cual se expresa en kWh. Este dato de energía producida es reflejado luego en el reporte mensual de consumo diario en graficas en barra. Para el caso mostrado correspondiente al 01 de Julio del 2021, como ya se mencionó anteriormente, es de 7 kWh. Este mismo valor se puede corroborar al utilizar el archivo de datos exportado al excel, restando el valor de la energía acumulada al final del día con el valor de la misma al inicio del día. Ver figura 29.

Figura 29

Energía generada a lo largo del día, shinemonitor.com



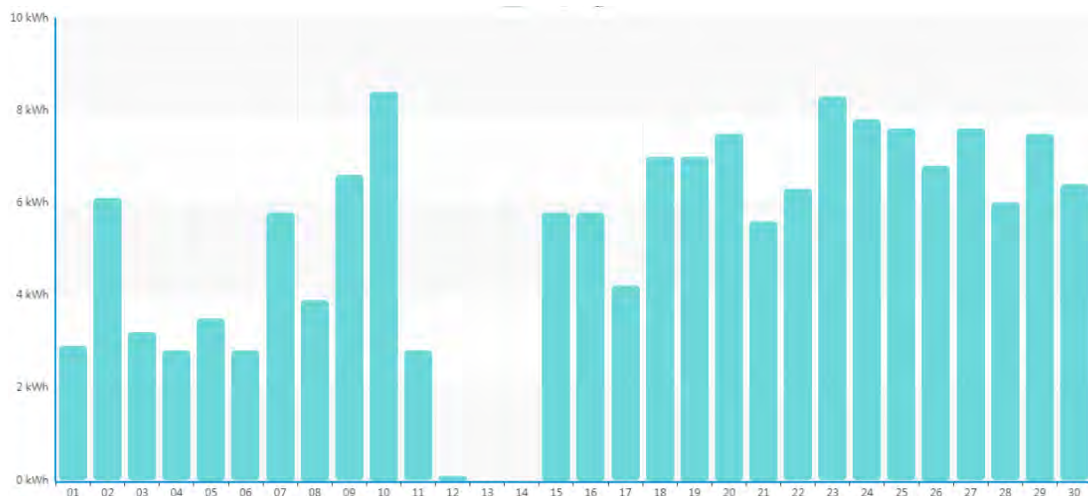
Nota. El área generada representa la energía producida por el sistema fotovoltaico en kWh, a lo largo del día. Extraído de shinemonitor.com.

3.5.6. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA JUNIO 2021

Estos datos de energía generada, son almacenados diariamente para luego generar reportes mensuales tal como se puede apreciar en la gráfica de barras correspondientes a cada día del mes (ver figura 30). Se observa entonces que los picos de energía generada se registran en los días 10 y 23 de Junio los cuales alcanzan valores de 8.4 kWh y 8.3 kWh respectivamente, mismos que son incluso superiores al que se calculó como demanda diaria de 5.93 kWh expresada en la Tabla 7. La energía total generada, según sistema, durante este mes fue de **170.2 kWh**, Sin embargo, como se observa, en los días 12, 13 y 14, aparentemente no hubo consumo, sin embargo, estas inconsistencias, corresponden a las fallas del sistema que el fabricante debe mejorar.

Figura 30

Reporte mensual en gráfica de barras, Junio 2021



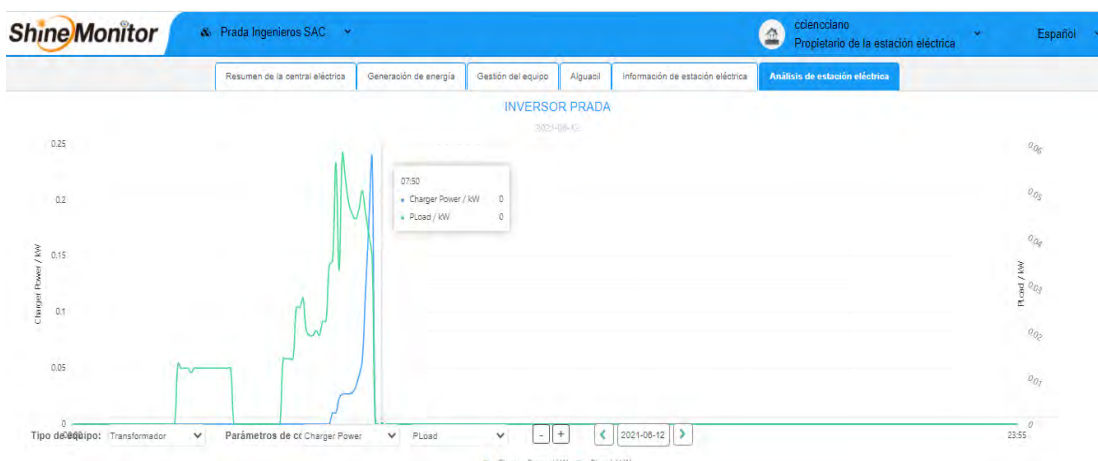
Nota. Energía generada durante el mes de junio 2021. Extraído de shinemonitor.com.

3.5.6.1. FALLAS DE REGISTRO DE DATOS DE ENERGÍA GENERADA DEL MES DE JUNIO DEL 2021

Tal como se puede apreciar en la figura 31, para el día 12 de junio del 2021, sólo una parte de las curvas de consumo y generación se aprecian correspondientes a las primeras horas del día, hasta las 7:45 am aproximadamente, y luego no se genera el registro pese a que hubo consumo de energía como todos los días.

Figura 31

Fallas de registro de datos 12 junio 2021, shinemonitor.com

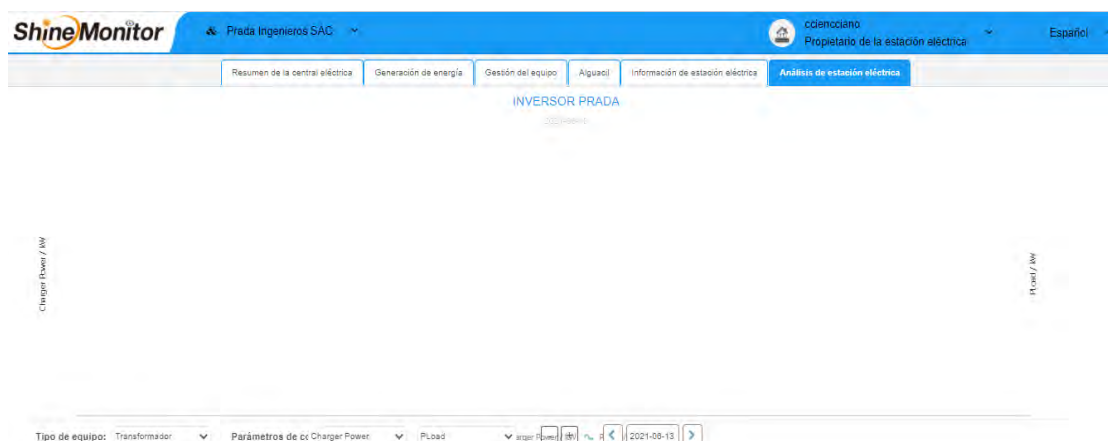


Nota. Se observa discontinuidad en las gráficas. Extraído de shinemonitor.com.

Para el día 13 de junio del mismo año, no hay registro alguno, ni siquiera parcialmente, y de igual manera ese día se consumió como habitualmente. La Figura 32 muestra tal situación.

Figura 32

Fallas de registro de datos 13 junio 2021, shinemonitor.com



Nota. Extraído de shinemonitor.com.

Para el día 14 de junio del 2021, por el contrario, sólo se puede ver parcialmente las curvas de generación y consumo para las horas finales del día, a partir de la 16:25 en adelante tal como se observa en la figura 33.

Figura 33

Fallas de registro de datos 14 junio 2021, shinemonitor.com



Nota. Extraído de shinemonitor.com.

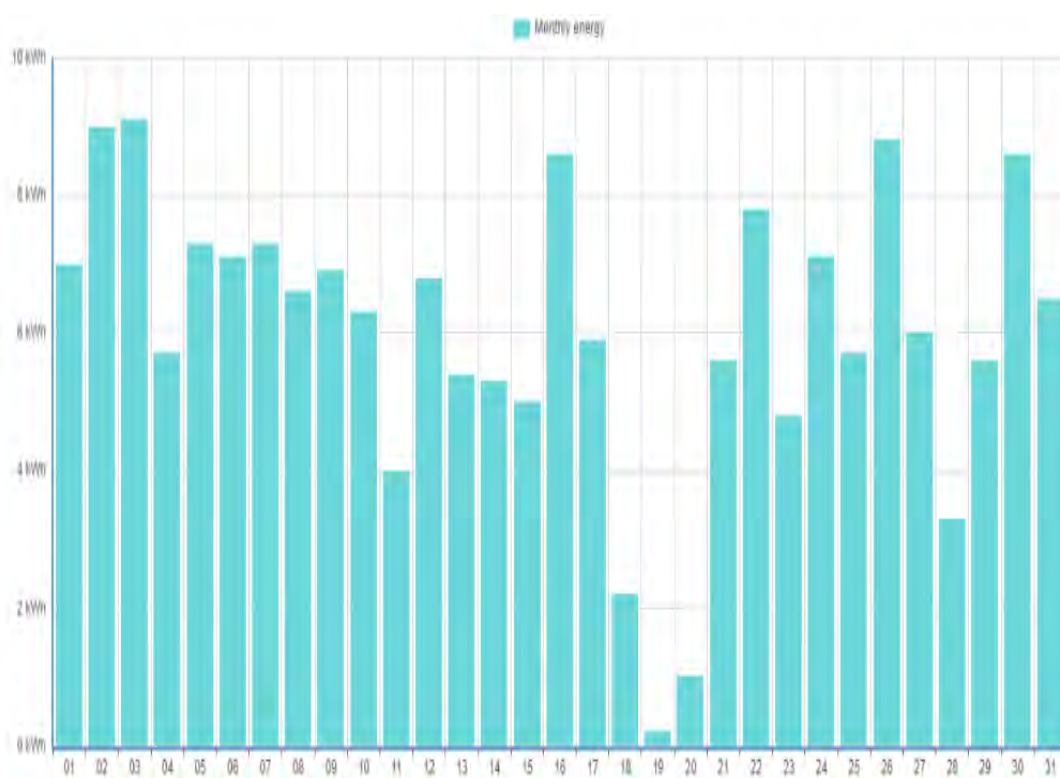
Estos tres casos de inconsistencia en los registros de energía generada y consumida dificultan el monitoreo *para efectos de registro, procesamiento y análisis estadístico de datos* y es por ello que el análisis, para efectos de este estudio, utilizando este sistema, se ha limitado a los meses donde hay menos inconsistencias de este tipo a fin de minimizar los errores con el tratamiento de estos datos. En todo caso es un punto a mejorar por parte de los fabricantes o proveedores que suministran estos sistemas de control como es el RTU Wifi de *Autosolar*, siendo esta la empresa proveedora española con sede en Perú, a quienes se ha reportado estos inconvenientes técnicos y a la fecha de elaboración de esta investigación aún presenta este tipo de inconvenientes.

3.5.7. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA JULIO 2021

Para el mes de Julio, se alcanza el valor de **196.7 kwh**, incluso mayor al del mes anterior, según muestra la figura 34.

Figura 34

Reporte mensual en gráfica de barras, julio 2021



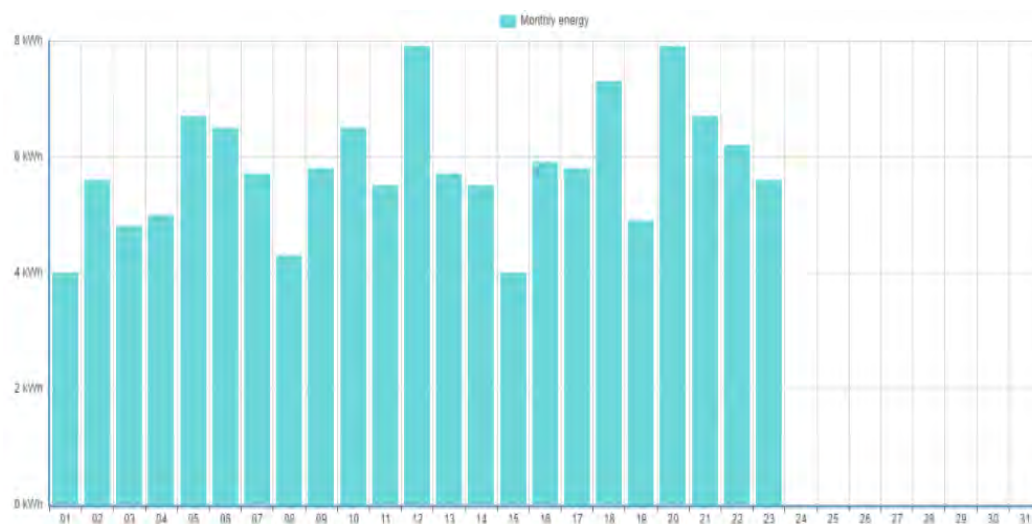
Nota. Energía generada durante el mes de julio 2021. Extraído de shinemonitor.com.

3.5.8. REPORTE MENSUAL DE ENERGÍA GENERADA AGOSTO 2021

Registra un reporte parcial ya que no registró a partir del día 24, ver Figura 35.

Figura 35

Reporte mensual en gráfica de barras, Agosto 2021



Nota. Energía generada durante el mes de Agosto 2021. Extraído de shinemonitor.com.

Finalmente podemos entonces comparar el consumo promedio del consumo histórico con los valores de consumo del sistema fotovoltaico para precisar el incremento de consumo de lo que antes fuera mientras se dependía de la red pública con lo que ahora representa el consumo energético proveniente del sistema fotovoltaico:

Tomamos entonces los valores de los reportes de nuestro sistema de monitoreo el mismo que nos revela, para el caso de Julio del 2021, un consumo de **196.7 kwh** frente a un consumo promedio que antes de la implementación del sistema era de **95.49 kwh**

Haciendo el cálculo porcentual tenemos que:

$$\frac{196.70}{95.49} * 100 = \mathbf{206\%}$$

Lo cual revela que se logra llegar a más del doble de lo que anteriormente se consumía.

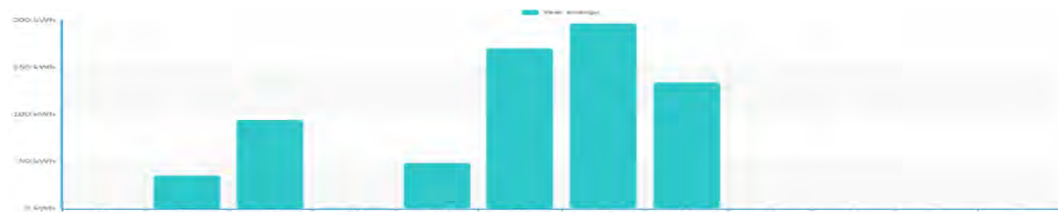
Ahora bien, durante este último periodo y hasta la fecha en la que se viene realizando el estudio, el sistema fotovoltaico opera con normalidad.

3.5.9. REPORTE ANUAL DE ENERGÍA GENERADA

La figura 36 muestra el registro anual de energía generada en kWh durante los meses del año 2021, sin embargo debido a fallas del mismo que el concesionario de la marca AutoSolar no ha podido resolver, se llega a mostrar de manera casi regular, sólo en los meses de Junio, Julio y Agosto, por lo que, sólomente con estos tres meses se analiza el comportamiento del sistema. Se debe aclarar que las fallas son solo de *registro*, más no del sistema de generación fotovoltaica como tal, que viene trabajando con normalidad.

Figura 36

Reporte anual en gráfica de barras 2021



Nota. Energía generada durante el año 2021. Extraído de shinemonitor.com.

3.6. PROCESO CONSTRUCTIVO SISTEMA FOTOVOLTAICO PANEL FOTOGRÁFICO

3.6.1. OBRAS CIVILES, ESTRUCTURA, MONTAJE DE PANELES E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Figura 37

Vaciado de columnas para soporte de paneles



Nota. Uso de cemento y agregados para el vaciado de las columnas de soporte.

Figura 38

Preparación de estructura metálica de soporte de paneles.



Nota. Uso de angulares y soldadura para fabricación de estructura de los paneles.

Figura 39

Montaje de paneles en la estructura de soporte



Nota. Uso de pernos autoperforantes para la sujeción de los paneles a la estructura.

3.6.2. CONEXIONES ELECTRICAS, PRUEBAS Y MEDICIONES

Figura 40

Instalaciones eléctricas del sistema fotovoltaico



Nota. Conexiones eléctricas entre paneles, baterías, inversor y líneas de alimentación con el uso de cables eléctricos, accesorios y herramientas para las conexiones.

Figura 41

Pruebas de funcionamiento y mediciones de las instalaciones



Nota. Se probó el funcionamiento de inversor, batería, paneles y valores de salida.

CAPÍTULO IV

CLIMATIZACIÓN AMBIENTAL

4.1. ESTADO SITUACIONAL DE LA VIVIENDA.

Para efectos de climatización, tal cual se mencionó en las limitaciones de esta investigación, se aplicará solo al ambiente de encuadernación, donde se realizan trabajos de empastado documentario y al estar en el primer piso de la construcción es sensible el frío que caracteriza a este lugar de la vivienda, principalmente en temporada de invierno, donde las temperaturas descienden a sus valores mínimos durante el año.

El ambiente en mención está ubicado en el primer piso de la vivienda, construcción de material de concreto, que por sus características es un ambiente destinado al uso exclusivo como taller de encuadernaciones y empastados de archivos documentarios, cuya frecuencia de uso depende de la carga laboral del rubro en mención. Ver figura 42.

Figura 42

Ambiente del taller de encuadernación para climatizar



Nota. Taller de encuadernación del archivo documentario de los diferentes clientes.

4.2. FACTORES MEDIO AMBIENTALES Y GEOGRÁFICOS DEL LUGAR DEL PROYECTO EN LA CIUDAD DEL CUSCO.

4.2.1. FACTORES MEDIO AMBIENTALES SOBRE LA HUMEDAD RELATIVA Y LA TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR

Uno de los factores que determina las características de la humedad relativa y la temperatura del aire en el exterior, tal como aprecia en la Tabla 10, nuestra región pertenece a la zona N° 4 denominada Mesoandino.

Tabla 10
Zonificación Bioclimática del Perú

Zona bioclimática	Definición climática
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	<i>Mesoandino</i>
5	Altoandino
6	Nevado
7	Ceja de Montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo

Nota. Adaptado de El Peruano, Diario Oficial (2014)

Con esta sectorización en cuanto a zona bioclimática corresponde ahora precisar las condiciones de temperatura externa media anual (T_e) y temperatura externa media máxima anual (T_{max}) así como la humedad relativa media anual (HR) respectiva, las cuales se expresan en la Tabla 11.

La norma técnica EM.110 CONFORT TERMICO Y LUMINICO CON EFICIENCIA ENERGETICA afirma que “Para el bienestar térmico y para evitar la excesiva humedad en la piel y la sequedad de la piel y las mucosas la humedad relativa del aire debe de estar en el

intervalo de 30%-70%, por lo tanto, lo expresado en la en la tabla 11 está dentro del rango de lo admisible para efectos de valores de humedad relativa para la ciudad del Cusco.

Tabla 11

Valores de T_e , T_{e-max} y humedad relativa media (HR) por zona bioclimática

Zona bioclimática	Valor de T_o (°C)	Valor de T_{e-max} (°C)	Valor de HR (%)
1	18	30	80
2	24	33	70
3	20	30	50
4	12	21	50
5	6	15	50
6	0	—	50
7	26	31	70
8	22	31	70
9	27	32	70

Fuente: El Peruano, Diario Oficial (2014)

En la Tabla 12, se resume el registro de temperaturas más bajas (remarcadas en rojo) y su progresivo incremento con el transcurrir de las horas en el rango horario habitual de uso del ambiente destinado a taller de encuadernación y serigrafía, el mismo que suele ser usualmente desde las 8:00 hasta las 12:00 am del medio día. Como se aprecia la temperatura exterior $T_e=6^{\circ}\text{C}$ y la temperatura de confort interior de 18°C que se pretende alcanzar para el caso de un ambiente de trabajo, tal como lo expresa la Norma técnica de edificaciones EM110, establecen el gradiente de temperatura que generará la pérdida de calor desde el interior hasta el exterior siempre y cuando la temperatura exterior no alcance una temperatura igual o mayor a la de 18°C , ya que en ese caso se invertirá el sentido del flujo de calor generándose ganancia de calor hacia el interior del recinto y entonces será cuando el equipo de climatización entre en parada hasta que nuevamente la temperatura exterior descienda inferior al de 18°C .

Tabla 12*Temperaturas más bajas en el horario de funcionamiento del sistema de calefacción 2015*

Hora	20 de mayo 2015 (Temp)	31 de mayo 2015 (Temp)	6 de junio 2015 (Temp)	7 de junio 2015 (Temp)	20 de junio 2015 (Temp)	26 de junio 2015 (Temp)	7 de julio 2015 (Temp)	27 de julio 2015 (Temp)
06:00	9 °C	10 °C	6 °C	7 °C	9 °C	6 °C	6 °C	6 °C
06:30	11 °C	13 °C	10 °C	9 °C	10 °C	8 °C	7 °C	8 °C
07:00	11 °C	14 °C	11 °C	11 °C	11 °C	10 °C	8 °C	9 °C
07:30	14 °C	16 °C	13 °C	14 °C	13 °C	12 °C	10 °C	12 °C
08:00	15 °C	15 °C	17 °C	14 °C	13 °C	13 °C	11 °C	13 °C
08:30	16 °C	18 °C	17 °C	14 °C	15 °C	15 °C	12 °C	15 °C
09:00	17 °C	18 °C	18 °C	17 °C	16 °C	16 °C	14 °C	17 °C
09:30	18 °C	17 °C	19 °C	17 °C	17 °C	18 °C	15 °C	18 °C
10:00	19 °C	17 °C	19 °C	18 °C	17 °C	19 °C	16 °C	19 °C
10:30	20 °C	17 °C	20 °C	19 °C	19 °C	20 °C	18 °C	21 °C
11:00	20 °C	14 °C	21 °C	19 °C	20 °C	20 °C	18 °C	22 °C
11:30	20 °C	16 °C	16 °C	19 °C	20 °C	21 °C	19 °C	22 °C
12:00	18 °C	17 °C	17 °C	20 °C	21 °C	21 °C	19 °C	22 °C

Fuente: Extraído de Diaz Barragán & Tinta Gutierrez (2017)

Es necesario advertir que a medida que la temperatura exterior va incrementando, la pérdida de calor del recinto es gradualmente menor, de modo que habrá se podrá regular el equipo de aire acondicionado a fin de alcanzar la temperatura deseada correspondiente a los 18°C que se exige para el caso de una vivienda según se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13*Valores de temperatura del ambiente interior por tipo de uso en edificaciones*

Edificación o local	Temperatura del ambiente interior (T _i) en °C
Vivienda	18
Locales de trabajo	18 – 20
Salas de exposiciones	15 – 18
Bibliotecas, archivos	15 – 18
Oficinas	20
Restaurantes	20
Cantinas	18
Grandes almacenes	20
Cines y teatros	20

Nota. Para el caso de vivienda corresponde 18°C. El Peruano, Diario Oficial (2014)

4.2.2. FACTORES GEOGRÁFICOS Y ASTRONÓMICOS

Los aspectos geográficos son determinantes para establecer el nivel de radiación que corresponde a cada punto del espacio terrestre en virtud de su **latitud y su longitud**, mismos que expresan las coordenadas geográficas que permiten precisar la ubicación exacta de un lugar en particular a nivel mundial.

Así mismo, **la altitud** es otro factor de suma importancia que determina la intensidad de la presión atmosférica respecto a la del nivel del mar, donde a mayor altitud menor presión atmosférica y viceversa.

En la tabla 14, se observa los valores de coordenadas geográficas, así como de altitud para el caso de la ciudad del Cusco, recogidos de Tesis de investigación anteriores según se cita a sus autores.

Tabla 14
Coordenadas y parámetros para la ubicación del Cusco

Parámetro	Unidad	Dato climático de la ubicación
Latitud	°N	-13.532
Longitud	°E	-71.967
Elevación	m	3399
Temperatura de diseño para calefacción	°C	3.65
Temperatura de diseño para refrigeración	°C	16.65
Amplitud térmica del suelo	°C	11.82
Días de helada en el sitio	días	0

Fuente: (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018)

En la Tabla 15, se aprecian los valores promedios de la radiación solar para cada mes, del mismo que se observa la variación que tiene cuyos valores mínimo y máximo van desde 4.95 hasta los 6.03 kWh/m².día, con un valor promedio de **5.34 kWh/m².día**

Así mismo para la altitud de 3399 msnm la presión atmosférica respectiva es de:

$$496 \text{ mm Hg} = 0,6613 \text{ bar} = 0,6526 \text{ atm} = 6,7433 \text{ m.c.a.} = 66124,695 \text{ Pa}$$

Tabla 15
Promedio de radiación solar en Cusco

Mes	Temp. del aire (°C)	Humedad relativa (%)	Radiación solar diaria (kWh/m ² /d)	Presión atm. (kPa)	Vel. del viento (m/s)	Temp. terrestre (°C)	Grados-día calefacción (°C-d)	Grados-día enfriamiento (°C-d)
Enero	12.2	86.10%	5.24	72.3	2.4	14.1	178	68
Febrero	11.9	86.20%	5.33	72.3	2.4	13.6	169	56
Marzo	11.9	85.40%	5.18	72.3	2.4	13.6	185	63
Abril	11.2	82.60%	5.08	72.4	2.5	13.1	198	42
Mayo	10.1	73.70%	5.13	72.5	2.7	11.8	237	19
Junio	9.1	64.70%	4.95	72.5	3.1	10.8	258	6
Julio	8.8	54.80%	5.08	72.5	3.4	10.9	274	6
Agosto	9.9	53.30%	5.29	72.5	3.1	12.9	238	21
Septiembre	11	60.60%	5.46	72.5	2.9	14.3	201	41
Octubre	12.2	66.40%	5.68	72.4	2.8	15.5	172	75
Noviembre	12.3	75.60%	6.03	72.3	2.7	15.4	162	76
Diciembre	12.4	82.70%	5.63	72.3	2.6	14.7	169	77
Anual	11.1	72.70%	5.34	72.4	2.7	13.4	2441	550

Nota. La radiación promedio anual de 5.34 kWh/m²/d.

Fuente: (Rojas Vitorino & Nuñez Chuchullo, 2018)

4.3. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA PARA CONDICIONES DE CONFORT.

El ambiente a climatizar corresponde actualmente al taller de encuadernación y serigrafía ubicado en el primer piso del edificio, el mismo que es utilizado con una frecuencia que va de 2 a 3 veces a la semana, durante 3 a 4 horas diarias aproximadamente. Se ha elegido este ambiente debido a que en los horarios de trabajo en dicho recinto, la sensación de frío es importante durante la estación de invierno principalmente, lo cual se desea mejorar a través de la instalación de un equipo de aire acondicionado conformado por un calefactor y un

humidificador, acorde a las dimensiones y necesidades del ambiente, dicho equipo también es parte de los equipos eléctricos que serán alimentados con la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos con el fin de procurar el confort y la buena salud de sus integrantes.

Tal como refiere la Norma Técnica de Edificaciones **EM.110 CONFORT TERMICO Y LUMÍNICO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA**, se establecen rangos de temperatura para los diferentes ambientes destinados a determinado uso según se muestran en la Tabla 13, el mismo que para nuestro caso la identifica como “Vivienda” cuya temperatura admitida es de 18°C, de modo que se ciñe a esta norma para efectos de conseguir los 18°C al interior del recinto elegido. Así mismo respecto al valor de la humedad relativa promedio la figura 50 refiere un valor del 50% el mismo que está dentro del rango de lo establecido por la norma EM110 antes mencionada.

4.4. VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA

4.4.1. ACONDICIONAMIENTO DEL AIRE CON EL USO DE LA CARTA PSICROMÉTRICA

Con la ayuda de la carta psicrométrica del aire atmosférico aplicable a nivel del Cusco, a partir de las condiciones más críticas de temperatura y humedad relativa (punto 1) correspondiente a los valores de $t = 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura y de humedad relativa del $\phi = 60\%$, se desea elevar la temperatura a valores de confort hasta los 18°C, (punto 2), este proceso se realiza calentando el aire con la humedad absoluta constante, este proceso produce que la humedad relativa desciende hasta 25.3%, a partir de este estado se tiene que humidificar el aire hasta llegar al 50% de humedad relativa (punto 3)

En resumen, se tiene que realizar dos procesos de acondicionamiento del aire: primero se realiza un calentamiento sensible y, a continuación una humidificación a temperatura constante. A continuación, realizaremos el cálculo de los dos procesos.

PROCESO I: CALENTAMIENTO DE AIRE

En esta parte calcularemos la energía o entalpía necesaria para elevar la temperatura del aire del recinto desde las condiciones atmosféricas (estado 1) $t = 5^{\circ}\text{C}$ y $\phi=60\%$, hasta el estado 2 con 18°C y $\phi=25.3\%$, manteniéndose la humedad específica con un valor constante de 4.9 gr de vapor de agua/kg de aire seco.

Primero calculamos la presión de saturación de vapor (P_g) a partir de la temperatura ambiental de 5°C , obteniendo un valor de $P_g = 0.8725$ kpa, con la humedad relativa de $\phi=60\%$ calculamos la presión de vapor

$$P_v = \phi P_g = 0.6 * 0.8725 = 0.5235 \text{ kpa}$$

Con los valores de la presión de vapor y la presión atmosférica del Cusco $P = 66.12$ kpa calculamos la humedad absoluta

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = 0.0049 \text{ kgv/kg a}$$

Segundo calculamos la entalpía específica, en kJ/kg, mediante la siguiente expresión:
 $h = 1.006 t + \omega(2.501 + 0.001805 t)$

$$h_1 = 1.006 (5) + 0.0049(2.501 + 0.001805 (5)) = 17.3 \text{ kJ/kg a}$$

$$h_2 = 1.006 (18) + 0.0049(2.501 + 0.001805 (18)) = 30.5 \text{ kJ/kg a}$$

Luego por diferencia de entalpías se obtiene la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de la masa del aire desde los 5°C hasta los 18°C por acción del equipo de aire acondicionado el mismo que tendrá que tener la potencia necesaria para lograr este proceso.

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 30.5 - 17.3$$

$$\Delta h = 13.2 \text{ KJ/Kga}$$

Tabla 16

Estados termodinámicos del aire

Punto	T (°C)	h (KJ/Kg)
4	-1	10
1	6	h₁
2	18	30

Nota. Parámetros de los estados termodinámicos.

$$h_1 = 17.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 30 - 17.4 \quad (4.1)$$

$$\Delta h = 12.6 \text{ KJ/Kg}$$

Siendo este valor la cantidad de energía necesaria por unidad de masa de aire seco, corresponde ahora encontrar la cantidad total de energía proporcionalmente a la masa total del aire dentro del recinto, siendo el volumen del aire igual a 51.71 m^3 y la densidad igual a 0.789 kg/m^3 entonces se tiene que la masa es igual a **40.79 kg**.

$$\text{Por lo que } H = 12.6 * 40.79 = \mathbf{514.07 \text{ KJ}}$$

PROCESO II: HUMIDIFICACIÓN DEL AIRE

Una vez en el alcanzado el estado 2, se procede a elevar la humedad relativa a fin de alcanzar los 50% inicialmente deseados, proceso que, tal como se muestra en el diagrama psicrométrico, se realiza a temperatura constante. El equipo de aire acondicionado dotado de humidificador se encargará de dosificar la cantidad correcta de agua a fin de lograr el confort.

Es necesario establecer el balance de masa que se cumplirá en los procesos 2 y 3 mediante la siguientes ecuaciones:

$$\Sigma \dot{m}_{v-entra} = \Sigma \dot{m}_{v-sale} \quad (4.2)$$

$$\dot{m}_{v2} + \dot{m}_f = \dot{m}_{v3} \quad (4.3)$$

Dónde:

$\dot{m}_v$: Flujo de masa de vapor de agua presente en el aire.

$\dot{m}_f$: Flujo de masa de agua que se añadirá al ambiente para subir la humedad específica.

Luego se sabe que $\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$,

Entonces se reemplaza en la ecuación 3.3 y se tiene que:

$$\dot{m}_{a2} * \omega_2 + \dot{m}_f = \dot{m}_{a3} * \omega_3 \quad (4.4)$$

Luego al ser flujo de aire constante y estable de modo que:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a * (\omega_3 - \omega_2) \quad (4.5)$$

FLUJO DE AIRE EN EL RECINTO

Para determinar el flujo del aire se hace uso de la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \frac{V * \rho}{t} \quad (4.6)$$

Sabiendo que el producto del volumen por la densidad corresponde a la masa del aire en el numerador de la expresión (3.6), dicho valor ya fue calculado para la estimación de la energía necesaria para calentamiento, cuyo valor es de 40.79 kg, y sabiendo que la renovación que se elige para este caso es de una renovación por hora, entonces el valor del flujo de masa sería:

$$\dot{m}_a = \frac{40.79 kg}{60 min}$$

$$\dot{m}_a = 0.679 \text{ kg/min}$$

Tabla 17

Resumen de valores de parámetros del aire en los puntos 2 y 3

DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	UNIDAD	P2	P3
Humedad específica	ω	gr vapor de agua/(Kg de aire seco)	4	10
Humedad relativa	Φ	%	22	50
Temperatura de bulbo seco	T	°C	18	18
Flujo de masa de aire	$\dot{m}_a$	Kg/min	0.67	0.67

Nota. A temperatura constante.

Reemplazando valores de la Tabla 17 en la ecuación 3.5 calculamos el flujo de vapor de agua necesario:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a * (\omega_3 - \omega_2)$$

$$\dot{m}_f = 0.679 * (10 - 4)$$

$$\dot{m}_f = 4.074 \text{ gr vapor agua/min}$$

De acuerdo a esto podemos afirmar que dicha cantidad de vapor no es significativa en la variación de temperatura del aire.

Luego sumamos ambos flujos de vapor de agua y de aire seco

$$m = m_a + m_f$$

$$m = 0.679 \text{ kg/min} + 4.074 \text{ kg/min}$$

$$M = 4.75 \text{ kg/min}$$

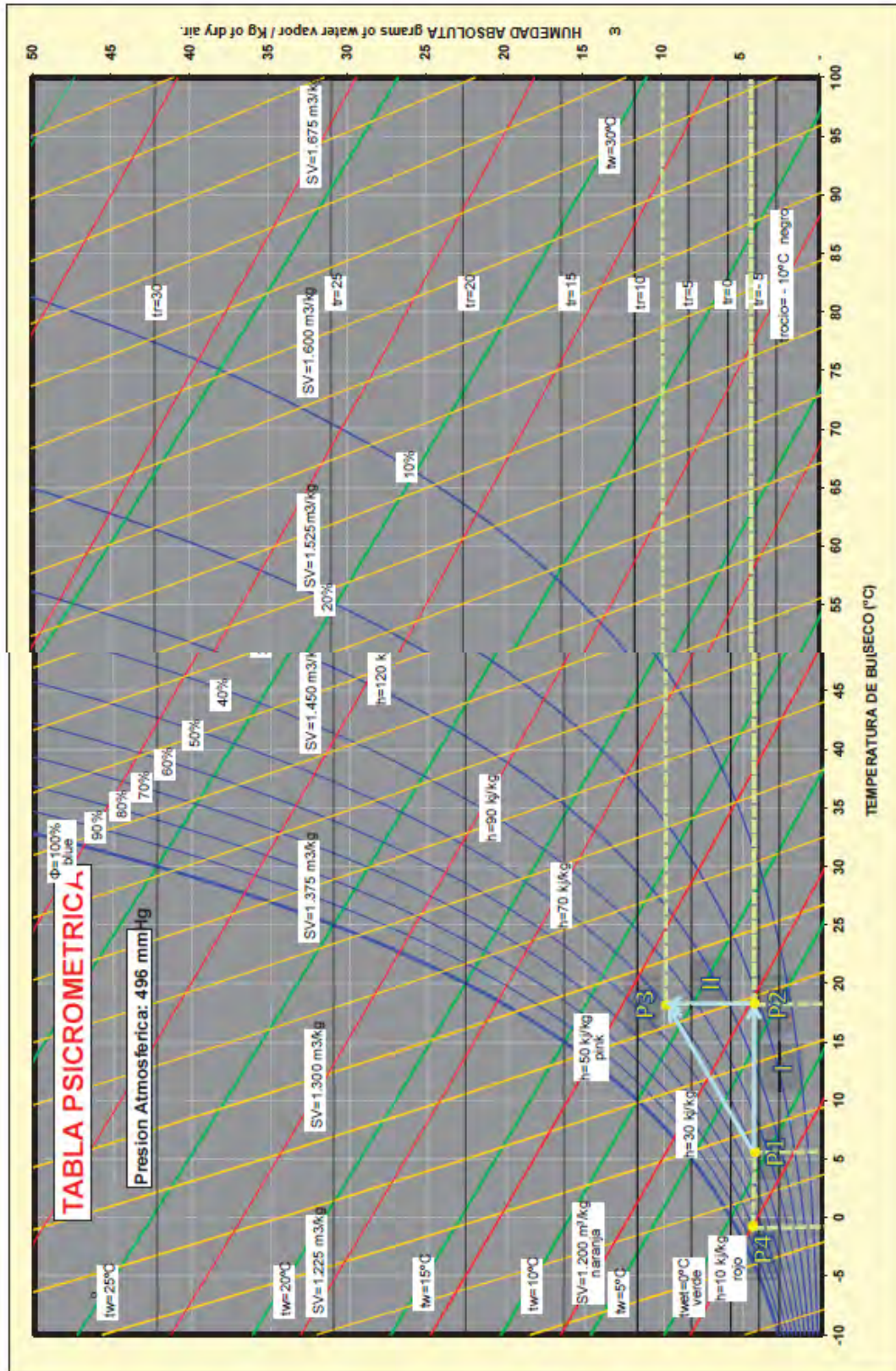
Luego hallamos la potencia necesaria.

$$P = 514.07 * 4.75 / 3600$$

$$P = 678 \text{ W}$$

Luego este valor debe sumarse al del balance térmico para determinar la potencia total necesaria.

Figura 43 Diagrama Psicrométrico del aire a 496 mmHg de presión atmosférica



4.5. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE

4.5.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y ELEMENTOS DEL RECINTO A CLIMATIZAR

Muros: conformados por bloques de arcilla con juntas por mortero tradicional, enlucidos combinados de mortero (arena fina y cemento) y de yeso (estuco)

Techo: Enlucido de yeso (estucado), poliestireno expandido (tecnopor), losa de concreto, falso piso, junta de unión (pegamento para mayólica) y finalmente mayólica correspondiente al piso del segundo nivel.

Piso: mayólica comercial

Ventanas: Vidrio de 6mm

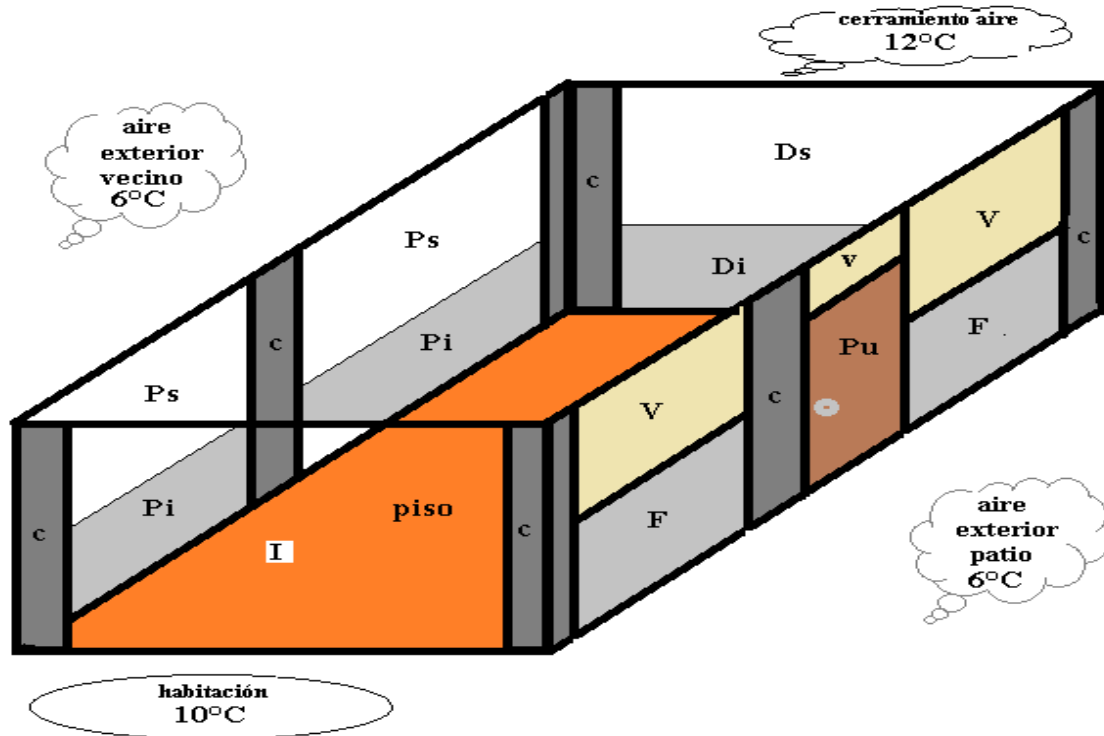
Puerta: Madera

Las temperaturas de los ambientes contiguos al recinto principal registran diferentes valores de temperaturas, por un lado, la única habitación contigua marca un valor de 10°C, mientras que la frentera y su lado opuesto (contiguo a la propiedad del vecino) registran temperaturas de aire exteriores de 6°C, cabe precisar que el muro colindante al del vecino, tiene una capa de aire de 2cm aproximadamente, entre los muros de ambas propiedades. Finalmente, la última de las paredes da hacia el muro de tierra natural, aunque entre ellos hay un espacio vacío de 20 cm de aire no ventilado aproximadamente, y contiguo a esta capa de aire un muro de tierra cuya resistencia se asumirá infinita y no se tomará en cuenta en el cálculo de flujo de calor hacia esta.

La Figura 44 representa el recinto a calefaccionar cuyos elementos constructivos se muestran diferenciados por color los mismos que se detallan a continuación:

Figura 44

Características del recinto a calefaccionar



Nota. Características del recinto a calefaccionar.

F: Muro frontal, con Bloques de arcilla con enlucido de mortero interior y exterior.

Pu: Puerta, material de madera.

V: Ventanas, vidrio conformado de 6mm de espesor.

C: Columnas: Concreto armado.

Ds: Muro derecho superior, Enlucido de yeso interior y bloques de arcilla.

Di: Muro derecho inferior, Enlucido de mortero y bloques de arcilla.

Ps: Muro posterior superior, Enlucido de yeso interior y bloques de arcilla.

Pi: Muro posterior inferior, Enlucido de mortero y bloques de arcilla.

I: Muro izquierdo, solamente bloques de arcilla con pintura.

El techo está conformado de poliestireno expandido, concreto, falso piso, pegamento de mayólica y la mayólica propiamente de espesor correspondiente al piso del segundo nivel.

Cabe indicar que para los muros del lado derecho y posterior se hacen se distinguen la parte superior e inferior por ser dos tipos de enlucido distintos: en la parte inferior el enlucido es de mortero, mientras que en la parte superior el enlucido es de yeso, por ello que se les diferencia para luego tomar en cuenta esto al momento de hacer los cálculos de pérdidas de calor debido a las diferencias de sus conductividades de ambos materiales.

4.5.1. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE

Para el cálculo de pérdidas a través de los muros, ventanas, techo y piso, se considera como un proceso de conducción unidimensional asumiendo una temperatura interna de 18°C. Para las paredes y techo también se asume la misma temperatura.

A continuación, algunos valores de conductividades térmicas de materiales constructivos que vamos a considerar para los cálculos de pérdidas:

Tabla 18
Conductividad térmica para materiales de construcción

Material	k (W/m·°C)
Ladrillo común	0,39 - 0,67
Concreto aligerado	0,11 - 0,25
Morteros de cemento	0,88 - 0,94
Ladrillos para exteriores	0,77
Ladrillos para interiores	0,56
Bloques de arcilla	0,391
Ladrillo macizo	0,7141

Nota. Se resalta la conductividad del bloque de arcilla.

Fuente: (Peña Rodríguez et al, 2014).

Tabla 19

Conductividad y resistencias térmicas de materiales de construcción

Conductividad térmica de materiales	
Designación	λ (W/m·K)
Ladrillo	0.8
concreto	1.75
Yeso	0.35
Enlucido de cemento	1.15
Poliestireno	0.034
La lana de roca	0.042
Poliestireno extruido	0.037
Panel de fibra mineral DIN 18165	0.041
Grava	0.7
Betún	0.23
Capa de aire sin ventilar s = 40 mm	0
Madera	0.15
Compuesto metálico	0.12
Resistencias superficiales entre el aire y la estructura	
Designación	Rsi o Rse (m²·K/W)
Capa de aire sin ventilación s=40 mm	0.18
Resistencia de la superficie interna (flujo de calor horizontal)	0.13
Resistencia de la superficie externa (flujo de calor horizontal)	0.04
Resistencia de la superficie interna (flujo de calor hacia arriba)	0.1
Resistencia de la superficie interna (flujo de calor hacia abajo)	0.17

Fuente: (El Peruano, Diario Oficial, 2014)

Tabla 20

Conductividad térmica para materiales de construcción

MATERIAL	K (W/m·K)	R (m²·K/W)
Mortero de cemento	1.4	-
Ladrillo	0.47	-
Concreto	1.63	-
Vidrio de 6 mm de espesor	-	0.175
Tecnopor expandido	0.035	-
Madera	0.18	-
Panel de Yeso	0.25	-
Fibra de vidrio	0.04	-
Mayólica	1	-
Pegamento para mayólica	1.2	-
Panel aislante	0.033	-

Fuente: (El Peruano, Diario Oficial, 2014)

4.5.1.2. DETALLE DE CONSTRUCCIÓN DE MURO CON BLOQUES DE ARCILLA DE 14 HUECOS.

En la figura 45, se tiene la referencia de una parte del muro frontal hasta antes de ser enlucido, donde se aprecia el modo de construcción de la misma y sus respectivas cantidades de unidades de bloques, así como de las juntas verticales y horizontales de concreto. Como se puede notar las dimensiones de dichas juntas son muy variables y van desde 2cm hasta 4 cm, por lo que no se puede hacer uso de algunas expresiones matemáticas que normalmente se sugieren para el cálculo de los elementos constitutivos de un muro de este tipo, de modo que seremos objetivos en base a la imagen que se logró recuperar. Es importante indicar que actualmente este muro ya está enlucido y acabado como corresponde.

Figura 45

Conformación de muro original en pleno proceso de construcción



Nota. Se aprecia la cantidad de filas de bloques de arcilla, necesarias para los cálculos.

Tal como se aprecia, son 6 unidades de bloques en posición horizontal y 5 (o sus equivalentes) en dirección vertical, por lo tanto, son 30 unidades de bloques de arcilla de 14 huecos. Teniendo la medida de las dimensiones del muro y sabiendo que las medidas de este tipo de bloques de arcilla de 14 huecos son 10x19x29, por diferencia encontraremos las áreas correspondientes a las juntas de concreto verticales y horizontales, esto en vista de que los valores de las conductividades térmicas son diferentes entre uno y otro material.

Cabe indicar que esta porción mostrada del muro servirá de referencia para el cálculo de las áreas que corresponden a los bloques de arcilla y a sus juntas de los demás muros del ambiente en vista de que fueron construidas por el mismo encargado de la construcción, de modo será necesario determinar los porcentajes de uno y otro componente o material para luego extender al cálculo de áreas de los demás muros con las mismas proporciones que aquí encontremos.

Siendo las dimensiones del muro en general de 1.89 x 1.11 m, calculamos el área respectiva el muro en su totalidad:

$$A_t = 1.89\text{m} \times 1.11\text{m} = 2.098 \text{ m}^2$$

Luego tenemos que el área conformadas únicamente por los bloques de arcilla será:

$$A_{\text{bloques}} = 0.19 \times 0.29 \times 30 = 1.653 \text{ m}^2$$

Luego, tal como se explicó anteriormente, por diferencia calculamos el área que ocupan las juntas de unión entre bloques:

$$A_{\text{juntas}} = 2.098 - 1.653 = 0.445 \text{ m}^2$$

Ahora hacemos el comparativo de las áreas conformados por los bloques y las juntas respecto del área total para determinar los porcentajes de participación en la conformación del muro para cada uno de ellos:

$$\% A_{\text{bloques}} = 1.653 \text{ m}^2 / 2.098 \text{ m}^2 = 78.8\%$$

$$\% A_{\text{juntas}} = 0.445 \text{ m}^2 / 2.098 \text{ m}^2 = 21.2\%$$

4.5.2. CÁLCULO DE ÁREAS DE LA ENVOLVENTE DEL RECINTO

Dado que la determinación anterior representa el patrón para el cálculo de las áreas conformadas por bloques y juntas para los demás muros de la envolvente, tomaremos la referencia de estos porcentajes obtenidos de modo que nos facilite el cálculo de las mismas.

Ahora calculamos la segunda parte del muro frontal, de la misma forma que la anterior:

$$A_t = 2.61\text{m} \times 1.11\text{m} = 2.897 \text{ m}^2$$

Por porcentajes, calculamos las áreas correspondientes a los bloques y las juntas

$$A_{\text{bloques}} = 2.897 \text{ m}^2 \times 78.8\% = \mathbf{2.283 \text{ m}^2}$$

$$A_{\text{juntas}} = 2.897 \text{ m}^2 \times 21.2\% = \mathbf{0.614 \text{ m}^2}$$

Entonces las áreas totales de los dos componentes del muro frontal (**F**) serán:

$$F_{\text{bloques}} = 1.653 + 2.283 = \mathbf{3.936 \text{ m}^2}$$

$$F_{\text{juntas}} = 0.445 + 0.614 = \mathbf{1.059 \text{ m}^2}$$

Área de la Puerta (**Pu**):

$$Pu = 0.985\text{m} \times 2.14\text{m} = \mathbf{2.108 \text{ m}^2}$$

Área las ventanas (**V**):

$$V = (2.61 + 1.89) \times 1.23 + 0.18 \times 0.98$$

$$V = \mathbf{5.711 \text{ m}^2}$$

Área del muro lado derecho (**D**)

$$Di = 2.88 \times 1.15 = \mathbf{3.312 \text{ m}^2}$$

$$Di\text{-bloques} = 3.312 \times 78.8\% = \mathbf{2.609 \text{ m}^2}$$

$$Di\text{-juntas} = 3.312 \times 21.2\% = \mathbf{0.702 \text{ m}^2}$$

$$Ds = 2.88 \times 1.20 = \mathbf{3.456 \text{ m}^2}$$

$$Ds\text{-bloques} = 3.456 \times 78.8\% = \mathbf{2.723 \text{ m}^2}$$

$$Ds\text{-juntas} = 3.456 \times 21.2\% = \mathbf{0.733 \text{ m}^2}$$

Área del muro Posterior (**P**)

$$Pi = 5.17 \times 1.15 = \mathbf{5.945 \text{ m}^2}$$

$$Pi\text{-bloques} = 5.945 \times 78.8\% = 4.685 \text{ m}^2$$

$$Pi\text{-juntas} = 5.945 \times 21.2\% = 1.260 \text{ m}^2$$

$$Ps = 5.17 \times 1.20 = 6.204 \text{ m}^2$$

$$Ps\text{-bloques} = 6.204 \times 78.8\% = 4.888 \text{ m}^2$$

$$Ps\text{-juntas} = 6.204 \times 21.2\% = 1.315 \text{ m}^2$$

Área del muro lado izquierdo (I)

$$I = 2.88 \times 2.35 = 6.768 \text{ m}^2$$

$$I\text{-bloques} = 6.768 \times 78.8\% = 5.333 \text{ m}^2$$

$$I\text{-juntas} = 6.768 \times 21.2\% = 1.435 \text{ m}^2$$

Área las columnas (c)

Tal como se aprecia en la figura 3.1. se tienen cuatro tipos de columnas (c): Dos frontales, dos posteriores y dos intermedias a las que denominaremos C₁, C₂, C₃, cuyas áreas o superficies de transferencia serán:

$$C_1 = 2(0.34\text{m} \times 2.35\text{m}) = 1.598 \text{ m}^2$$

$$C_2 = 2(0.39\text{m} \times 2.35\text{m}) = 1.833 \text{ m}^2$$

$$C_3 = 0.42\text{m} \times 2.35\text{m} = 0.987 \text{ m}^2$$

$$C_4 = 0.45\text{m} \times 2.35\text{m} = 1.057 \text{ m}^2$$

Área del techo (T)

Debido a su configuración para este tipo de elementos constructivos aquí tenemos dos tipos de compuestos principales: El poliuretano y el concreto de 20 cm de espesor, luego lo completan el falso piso de 5cm, el pegamento de mayólica y la mayólica por sí misma.

Figura 46

Conformación del techo, poliuretano y viguetas de concreto



Nota. Se aprecia la cantidad de filas. Adaptado de Peña Rodríguez et al (2014).

El techo está conformado por dos partes divididas por la viga central, en la primera parte se tienen siete poliestirenos y en la segunda parte son 8, cuyos anchos miden 0.295 m con un largo de 3.25 m de modo que el área que estas abarcan en el techo es de:

$$A_p = 15 \times 0.295\text{m} \times 3.25\text{m} = \mathbf{14.381\text{ m}^2}$$

Calculamos el área total del techo (incluida las viguetas de concreto) de acuerdo a sus dimensiones exteriores:

$$A_t = (2.61 + 0.985 + 1.89) 3.25 = \mathbf{17.826\text{ m}^2}$$

Por diferencia podemos hallar el área efectiva conformada por las viguetas de concreto en el techo:

$$A_{cc20} = \mathbf{3.445\text{ m}^2}$$

Área del piso (**piso**)

$$A_{\text{piso}} = 6.40 \times 3.25 - 2 \times 0.45 \times 0.12 - 2 \times 0.12 \times 0.39 - 2 \times 0.34 \times 0.25$$

$$A_{\text{piso}} = \mathbf{20.428\text{ m}^2}$$

Área las ventanas (**V**)

4.5.3. CONFIGURACIONES DE LOS ELEMENTOS DE LOS MUROS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS HACIA EL EXTERIOR.

4.5.3.1. CALCULO DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES

Para ello evaluaremos cada perfil compuesto de modo que determinaremos la resistencia global del conjunto, luego esto nos servirá para calcular la conductancia, la misma que luego permite hallar el flujo o pérdida de calor de la zona de mayor temperatura hacia la zona de menor temperatura a través de una determinada superficie. Vamos a necesitar las expresiones matemáticas siguientes:

$$R = e/k \quad (4.7)$$

$$C = 1/R \quad (4.8)$$

$$Q = C \times A \times (T_1 - T_2) \quad (4.9)$$

Dónde:

R: Resistencia a la conducción

C: Conductancia

e: Espesor del material

k: Conductividad térmica

A: Área por donde atraviesa el flujo de calor

T₁-T₂: Diferencia de temperatura entre las caras de las superficies.

Con los datos de las tablas 10, 11 y 12 sobre conductividades, calculamos las resistencias térmicas de cada material según sus espesores:

$$R_{em} = 0.02/1.15 = 0.0174 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{bloq} = 0.1/0.39 = 0.2564 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{concr} = 0.1/1.75 = 0.057 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{yeso}} = 0.02/0.4 = \mathbf{0.05 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$R_{\text{poliuretano}} = 0.15/0.034 = \mathbf{4.412 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$R_{\text{concr5}} = 0.05/1.75 = \mathbf{0.0286 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$R_{\text{concr20}} = 0.20/1.75 = \mathbf{0.1143 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$R_{\text{madera}} = 0.04/0.15 = \mathbf{0.2667 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$C_{\text{vidrio}} = \mathbf{5.4 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$R_{\text{mayólica}} = 0.006/1 = \mathbf{0.006 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

$$R_{\text{pegam}} = 0.01/1.2 = \mathbf{0.0083 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

4.5.1.2. CÁLCULO DE RESISTENCIAS EQUIVALENTES SEGÚN SUS CONFIGURACIONES Y PERDIDAS DE CALOR

MURO FRONTAL:

Figura 47

Enlucido de mortero ambas caras y bloque de arcilla



$$R = R_{\text{em}} + R_{\text{bloq}} + R_{\text{em}}$$

$$R = 2(0.0174) + 0.2564$$

$$R = 0.2912$$

$$C = 3.434 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.434 \times 3.936 \times (18 - 6)^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q = 162.198 \text{ W}}$$

Figura 48

Enlucido de mortero ambas caras y concreto



$$R = R_{em} + R_{junta} + R_{em}$$

$$R = 2(0.0174) + 0.057$$

$$R = 0.098$$

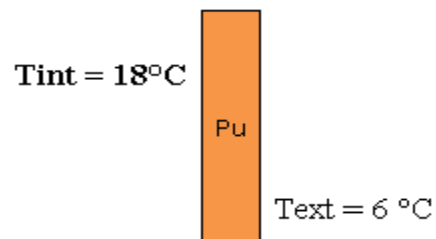
$$C = 10.893 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 10.893 \times 1.059 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 138.431 \text{ W}$$

Figura 49

Puerta de madera



$$R = 0.2667$$

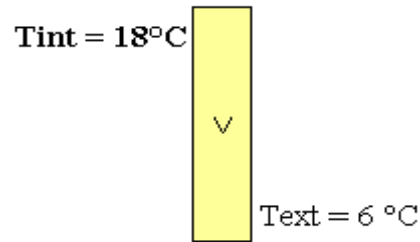
$$C = 3.75 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.75 \times 2.108 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 94.86 \text{ W}$$

Figura 50

Ventanas de vidrio laminado



$C = 5.4 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (para el caso del vidrio laminado de 6 mm, viene el dato de conductancia en las tablas en lugar de la conductividad como para los demás materiales)

$$Q = 5.4 \times 5.711 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

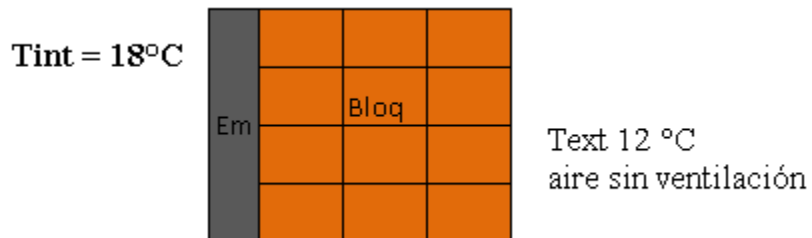
$$Q = 370.73 \text{ W}$$

MURO LATERAL DERECHO:

PARTE INFERIOR

Figura 51

Enlucido interior y bloque de arcilla



$$R = R_{em} + R_{bloq} + R_{aire}$$

$$R = 0.0174 + 0.2564 + 0.18$$

$$R = 0.4536$$

$$C = 2.2036 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

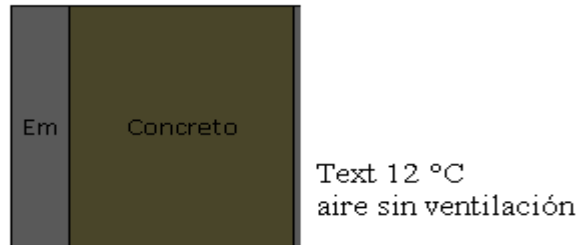
$$Q = 2.2036 \times 2.609 \times (18 - 12) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 34.495 \text{ W}$$

Figura 52

Conjunto enlucido y junta de concreto.

Tint = 18°C



$$R = R_{em} + R_{junta} + R_{aire}$$

$$R = 0.0174 + 0.057 + 0.18$$

$$R = 0.2544$$

$$C = 3.9308 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.9308 \times 0.702 \times (18 - 12) ^\circ\text{C}$$

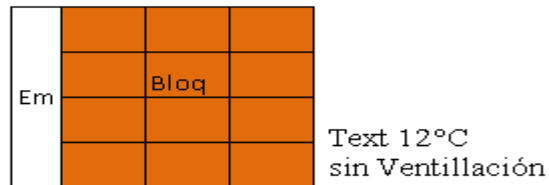
$$Q = 16.556 \text{ W}$$

PARTE SUPERIOR

Figura 53

Conjunto enlucido de yeso y bloques de arcilla

**Temp interior
18°C**



$$R = R_{yeso} + R_{bloq} + R_{aire}$$

$$R = 0.05 + 0.2564 + 0.18$$

$$R = 0.4864$$

$$C = 2.20559 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 2.0559 \times 2.723 \times (18 - 12) ^\circ\text{C} \quad \text{entonces: } Q = 33.589 \text{ W}$$

Figura 54

Conjunto enlucido de yeso y junta de concreto



$$R = R_{\text{yeso}} + R_{\text{bloq}} + R_{\text{aire}}$$

$$R = 0.05 + 0.057 + 0.18$$

$$R = 0.287$$

$$C = 3.484 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 3.484 \times 0.733 \times (18 - 12)^{\circ}\text{C}$$

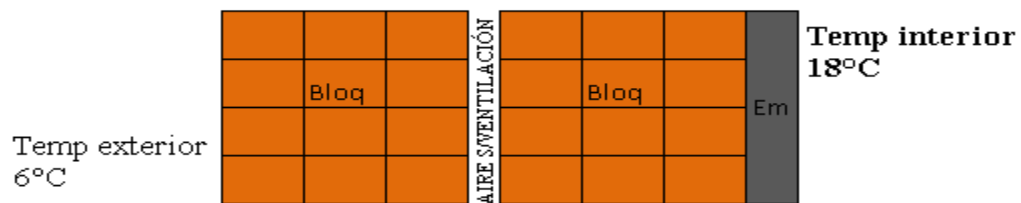
$$Q = 15.324 \text{ W}$$

MURO POSTERIOR:

PARTE INFERIOR

Figura 55

Conjunto enlucido de mortero, bloques de arcilla, aire, bloques



$$R = R_{em} + R_{bloq} + R_{aire} + R_{bloq}$$

$$R = 0.0174 + 0.2564 + 0.18 + 0.2564$$

$$R = 0.7102 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{W}$$

$$C = 1.408 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.408 \times 4.685 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 79.161 \text{ W}$$

Figura 56

Conjunto enlucido de mortero junta de concreto, aire, junta de concreto



$$R = R_{em} + R_{junta} + R_{aire} + R_{junta}$$

$$R = 0.0174 + 0.057 + 0.18 + 0.057$$

$$R = 0.3114 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W}$$

$$C = 3.211 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

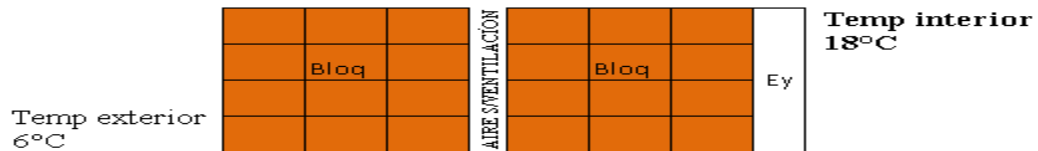
$$Q = 3.211 \times 1.260 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 48.555 \text{ W}$$

PARTE SUPERIOR

Figura 57

Conjunto enlucido de yeso, bloques de arcilla, aire, bloques.



$$R = R_{yeso} + R_{bloq} + R_{aire} + R_{bloq}$$

$$R = 0.05 + 0.2564 + 0.18 + 0.2564$$

$$R = 0.7428 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W}$$

$$C = 1.346 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 1.346 \times 4.888 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 78.96 \text{ W}$$

Figura 58

Conjunto enlucido de yeso, junta de concreto, aire, junta de concreto.



$$R = R_{\text{yeso}} + R_{\text{junta}} + R_{\text{aire}} + R_{\text{junta}}$$

$$R = 0.05 + 0.057 + 0.18 + 0.057$$

$$R = 0.344 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W}$$

$$C = 2.9069 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 2.9069 \times 1.315 \times (18 - 6) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 45.872 \text{ W}$$

MURO LATERAL IZQUIERDO:

Figura 59

Bloques de arcilla.



$$R = R_{\text{bloq}}$$

$$R = 0.2564 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C / W}$$

$$C = 3.90 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.9 \times 5.333 \times (18 - 10)^\circ\text{C}$$

$$Q = 166.389 \text{ W}$$

Figura 60

Junta de Concreto



$$R = R_{\text{junta}}$$

$$R = 0.057 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$$

$$C = 17.544 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 17.544 \times 1.435 \times (18 - 10)^\circ\text{C}$$

$$Q = 201.403 \text{ W}$$

TECHO:

Figura 61

Conjunto enlucido de yeso, poliuretano, losa de concreto de 5cm, falso piso de concreto de 5 cm, pegamento de mayólica, mayólica.



$$R = R_{\text{yeso}} + R_{\text{poliuretano}} + R_{\text{concr5}} + R_{\text{concr5}} + R_{\text{pegamento}} + R_{\text{mayólica}}$$

$$R = 0.05 + 4.412 + 0.0286 + 0.0286 + 0.0083 + 0.006$$

$$R = 4.533 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ W}$$

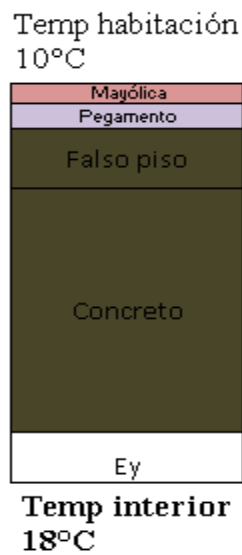
$$C = 0.2206 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 0.2206 \times 14.381 \times (18 - 10) ^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q = 25.377 \text{ W}}$$

Figura 62

Conjunto enlucido de yeso, Losa de concreto de 20cm, falso piso de concreto de 5 cm, pegamento de mayólica, mayólica.



$$R = R_{\text{yeso}} + R_{\text{concr20}} + R_{\text{concr5}} + R_{\text{pegamento}} + R_{\text{mayólica}}$$

$$R = 0.05 + 0.1143 + 0.0286 + 0.0083 + 0.006$$

$$R = 0.2072 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ W}$$

$$C = 4.826 \text{ W} / \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 4.826 \times 3.445 \times (18 - 10) ^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q = 133.012 \text{ W}}$$

Luego calculamos la pérdida total equivalente sumando los resultados parciales obtenidos, donde:

$$\mathbf{Q_{pérdidas} = 1644.912 \text{ W}}$$

4.6. CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL NECESARIA

Corresponde a la suma del balance térmico necesario y la potencia por ventilación:

$$Q_{\text{pérdidas}} = 1644.912\text{W} + 678\text{W}$$

$$Q_{\text{pérdidas}} = 2322.91\text{W}$$

Calculamos la eficiencia del sistema de climatización “n” sabiendo que la potencia del sistema de aire acondicionado (Pac) es de 2000W:

$$n = P_{ac} / Q_{\text{pérdidas}} = 2000\text{W} / 2322.91\text{W}$$

$$n = 0.861; \mathbf{n = 86.1\%}$$

a continuación se muestra el equipo de climatización, ver Figura 63:

Figura 63

Aire acondicionado en taller de encuadernación



Nota. Equipo de aire acondicionado con calefactor y humidificador

4.7. PRUEBA DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y PRESIÓN ATMOSFÉRICA CON SENSOR BME280.

La prueba de temperatura se realiza con el equipo sensor BME280, el cual registra los datos ambientales en tiempo real, notándose con claridad las variaciones de los parámetros mencionados, validando con ello el funcionamiento del equipo de calefacción según se muestra en la figura 64.

Figura 64

Funcionamiento del sensor BME280 para registro de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica



Nota. Con el equipo de aire acondicionado en funcionamiento, la temperatura varía de 18.5°C hasta 22.30°C (7:13 – 7:39 am), ello detectado por el sensor BME280

4.8. PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LAS BATERÍAS PARA FUNCIONAMIENTO DEL AIRE ACONDICIONADO

Sabiendo que el sistema de acumulación tiene una capacidad de 3600Wh y la potencia del aire acondicionado máxima es de 2000W se tiene que el tiempo que podría funcionar a expensas de la batería sería:

$$t = 3600\text{Wh} / 2000\text{W}.$$

$$t = 1.8 \text{ h } (\text{ello, a plena carga})$$

Sin embargo, tal como se menciona sobre el horario de funcionamiento del ambiente de encuadernación, este va desde en promedio desde las 8:00 am hasta las 12:00 pm con una frecuencia de 3 días por semana de uso exclusivo en invierno. De modo que no es común que el aire acondicionado funcione únicamente a expensas de la batería ya que, al haber brillo solar en ese horario, los paneles fotovoltaicos proveen la energía que durante esas horas vienen produciendo. Por lo tanto el sistema de aire acondicionado funciona tomando la energía de ambas fuentes tanto del sistema fotovoltaico como de la batería. Además, el equipo permite manipular o variar la potencia de trabajo lo cual nos lleva a trabajar incluso al 30% de su capacidad real, permitiendo manejar rangos de trabajo desde los 700W, lo cual es usual en la práctica, sin embargo para efectos de techos o picos de trabajo se ha considerado la potencia máxima de 2000W lo cual viene a ser básicamente nominal. Este excedente nos permite gestionar la energía de mejor manera para un adecuado uso de la energía total generada sin salirse del enfoque de racionalización de la energía, y es por ello que el sistema logra abastecer las necesidades energéticas de la vivienda.

CAPÍTULO V

CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

5.1. ESTADO SITUACIONAL

Inicialmente no se utilizaba agua caliente sanitaria en la vivienda, todos los servicios de agua sanitaria se cubrían con agua a temperatura ambiente únicamente.

5.2. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

5.2.1. SELECCIÓN DEL TERMOTANQUE O CALENTADOR SOLAR

Cálculo de consumo de agua caliente:

El consumo *diario de agua caliente sanitaria percapita* es de 11.7 litros y 8.1 litros para el lavatorio de la cocina y la ducha para servicios higiénicos, respectivamente (Mazzoni, Marsili, & Alvisi, 2024) .

Lo que hace un total 19.8 litros por persona diario, y considerando 6 integrantes hacen un total de **118.8 litros** de consumo diario de agua caliente sanitaria en la vivienda. Sin embargo, se prevé que eventualmente haya excesos de consumo por algún motivo no previsto lo que da un margen de reserva que permite atender estas demandas imprevistas.

Los calentadores solares comerciales para viviendas unifamiliares y para instalaciones hoteleras son las de tubos al vacío la misma que da mejores resultados que las de tubos de placas y serpentines de cobre, por ello su gran adaptación a nuestro medio. En el mercado se encuentran calentadores de las siguientes capacidades:

90 litros (para 3 integrantes)

120 litros (para 4 integrantes)

150 litros (para 5 - 6 integrantes)

300 litros (instalaciones hoteleras)

500 litros (instalaciones hoteleras)

Para nuestro caso, se ha elegido el **calentador solar de 150 litros** en vista de que se desea aplicar el agua caliente a los servicios higiénicos y al lavadero de la cocina.

Cálculo de cantidad de calor diario en kJ, necesario para calentar el agua (Q):

$$Q = m_{\text{agua-reservorio}} * C_p * (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \quad (5.1)$$

Dónde:

m_{agua-reservorio}: masa de agua en el calentador solar

C_p: Calor específico del agua ()

T_{max}: Temperatura del agua caliente en el calentador solar

T_{min}: Temperatura del agua fría que ingresa al calentador solar

La Tabla 21 muestra los valores de calor específico del agua y de otros materiales. Para el caso del agua se tiene un valor de 4.186 KJ/Kg°C. mientras que las temperaturas mínima y máxima se obtienen de las mediciones que se realizan al inicio y al final del día aleatoriamente.

De modo que:

$$Q = 150 \text{ Kg} \times 4.186 \text{ KJ/Kg.}^\circ\text{C} \times (86 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q = 40185.6 \text{ KJ}$$

Otra forma de aprovechamiento importante que se ha logrado con la disposición de agua caliente es el ahorro de gas doméstico en la cocina, debido a que antes, se colocaba en la cocina agua a temperatura ambiente para la preparación de los alimentos, la misma que tardaba de entre 20 a 25 minutos en hervir, ahora, al introducir agua precalentada, este tiempo se ha reducido sustancialmente, de modo que eso se traduce en una reducción de consumo de gas y en consecuencia, representa un ahorro en la economía familiar.

Tabla 21
Valores de Calor específico para algunos materiales

Material	J/(kg·K)	Material	J/(kg·K)
Aceite vegetal	2000	Nitrógeno	1040
Hielo (−10 °C a 0 °C)	2093	Cinc	390
Agua (0 °C a 100 °C)	4186	Oro	129
Hierro/Acero	452	Cobre	387
Aire	1012	Oxígeno	918
Hormigón	880	Diamante	509
Alcohol etílico	2460	Plata	236
Latón	380	Dióxido de carbono (gas)	839
Alcohol metílico	2549	Plomo	128
Litio	3580	Estaño	210
Aluminio	897	Potasio	750
Madera	420	Etilen glicol	2200
Amoníaco (líquido)	4700	Sodio	1230
Magnesio	1023	Gasolina	2220
Arena	290	Tejido humano	3500
Mármol	858	Grafito	710
Asfalto	920	Tierra (típica)	1046
Mercurio	138	Granito	790
Azufre	730	Vapor de agua (100 °C)	2009
Metano (275 K)	2191	Helio (gas)	5300

Fuente: (Roente, 2015)

Cabe indicar que se tuvo que implementar las conexiones de tuberías necesarias para disponer de agua caliente tanto en los servicios higiénicos como en el lavadero de la cocina.

Con esta implementación los usuarios gozan de mayor confort y mejoran los hábitos de higiene toda vez que, al disponer de agua caliente, permite utilizar con mayor frecuencia los servicios para la higiene personal sin temor de exponerse a las bajas temperaturas o a contraer posibles resfríos como cuando se manipula agua fría domiciliaria.

5.2. PROCESO CONSTRUCTIVO SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

5.2.1. PROCESO CONSTRUCTIVO INSTALACIÓN TANQUE Y LÍNEAS DE CONDUCCIÓN AGUA FRÍA

Inicialmente se tuvo que reubicar el tanque de agua fría para que tuviera un nivel superior al de la terma solar, de modo que por gravedad pudiera abastecerla de agua fría, mediante una línea de tubería de agua fría de media pulgada que se tuvo que instalar ver figuras 65 y 66.

Figura 65

Instalación de tanque y conexiones de tuberías de agua fría



5.2.2 INSTALACIÓN DE CALENTADOR SOLAR

Figura 66

Instalación de calentador solar.



Nota. El mismo proveedor de la terma solar se encarga de la instalación in situ.

5.2.3. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE AGUA CALIENTE

Se instala las líneas de agua caliente que van desde la terma solar hasta la cocina y los servicios higiénicos del segundo nivel. Luego de ello se realizan las pruebas de funcionamiento de la terma solar para validar su funcionamiento. Ver figuras 67 y 68.

Figura 67

Conexiones sanitarias para los servicios de agua caliente.



5.2.4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

Figura 68

Pruebas de funcionamiento y medición de temperaturas inicial y final.



Nota. El termómetro de la terma solar detecta una temperatura inicial de 22°C en horas de la mañana, y luego al finalizar el día se registra una temperatura de 86°C.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVERSIÓN

Para efectos de poder visualizar la rentabilidad del proyecto, se tiene que determinar el costo de la implementación del sistema, el mismo que se adjunta en la tabla 22, donde se discrimina por separado el costo de los equipos, materiales y la mano de obra involucrada.

Tabla 22

Costos de equipos y materiales para la implementación del sistema

COSTOS DE EQUIPOS Y MATERIALES					
NRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P. UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
1	Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar	und	1995.00	1.00	1995.00
2	Batería GEL 12V 300Ah Tensite	und	1348.51	2.00	2697.02
3	Panel solar Monocristalino 260W PROPSOLAR	und	395.00	6.00	2370.00
4	Kit Wifi RTU Inversor MUST	und	409.33	1.00	409.33
5	Cable solar Nro 10 – metros	metro	8.00	10.00	80.00
6	Cable eléctrico Nro 12 – rollo	rollo	182.00	1.00	182.00
7	Cable 2 AWG	metro	25.50	4.00	102.00
8	Llave termomagnética 16A CH	und	29.00	2.00	58.00
9	Kit de accesorios conectores	juego	80.00	1.00	80.00
10	Terma solar 150L - Solarplus	und	1186.44	1.00	1186.44
11	tubo hidro 1/2" - agua caliente	und	22.03	6.00	132.20
12	tubo PVC 1/2" - agua fría	und	15.25	8.00	122.03
13	tubo galvanizado 2"X 2mm X 6m	und	73.73	1.00	73.73
14	angular 38mm X 38mm X 2mm X 6m	und	30.25	3.00	90.76
15	fierro corrugado de 1/2" X 6m	und	36.19	3.00	108.56
16	fierro corrugado de 3/8" X 6m	und	20.34	2.00	40.68
17	cemento yura 210 kg/cm2	und	23.47	3.00	70.42
18	mano de obra	servicio	180.00	1.00	180.00
				sub total	9978.18
				IGV	1796.07
				Total	11774.25

Nota. Equipos, accesorios y materiales adquiridos para la implementación del sistema.

Luego estos costos de equipos y materiales los cuales representan la inversión inicial deberán ser evaluados en función de la recuperación de la inversión que se tendrá en el tiempo,

teniendo en cuenta el consumo anual de energía y el costo tarifario por Kwh que aplica actualmente la empresa prestadora del servicio eléctrico, cuyo resumen desagregado se refleja en la tabla 23.

6.2. DESAGREGADO DE AHORROS ANUALES

Tabla 23

Desagregado de ahorros anuales

COSTOS ANUALES	
Electricidad	122.5
	22.05
	144.55
	1734.6
GLP	720.00
Terma	936.33
Electromovilidad	720.00
TOTAL ANUAL	4110.93

Nota. Ahorros generados por implementación del sistema.

6.3. INCREMENTO DE LA TARIFA ELÉCTRICA – ELSE S.A.

También se debe tomar en cuenta la tasa de variación de la tarifa eléctrica que para nuestro caso resulta de 8.8% según refleja la tabla 24, la cual se generó extrayendo las tarifas de los recibos de luz que se pudieron conseguir desde el año 2013 hasta el año 2021, donde se observa que experimentó una variación del 70.73% lo que representa una variación anual del 8.8% la cual será considerada como la tasa de interés anual real para efectos de cálculo de la rentabilidad del proyecto.

Tabla 24*Crecimiento de la tarifa eléctrica*

Año	Tarifa (kWh)
2021	0.7
2020	0.6
2019	0.65
2018	0.6
2015	0.5
2014	0.45
2013	0.41
Variación total	0.29
Variación porcentual total	70.73%
Variación porcentual anual	8.8%

En la Tabla 25, se refleja la recuperación de la inversión para el año número 4, considerando una vida útil de los paneles a 20 años, según garantía de los fabricantes. En esta tabla se consideran renovaciones de baterías cada cuatro años y un cambio de inversor a lo largo de la vida útil del sistema en general.

6.4. ANALISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO IMPLEMENTADO

Tabla 25

Análisis de indicadores de rentabilidad

Descripción	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Flujo de Efectivo	-11774.25	4110.93	4110.93	4110.93	1110.93	4110.93	4110.93	4110.93	1110.93	4110.93
S. Actualizado	-11774.25	3778.43	3472.82	3191.93	792.81	2696.47	2478.37	2277.92	565.79	1924.33
S. Actual. Acumul.	-11774.25	-7995.82	-4523	-1331.07	-538.26	2158.21	4636.59	6914.5	7480.29	9404.62

2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1710.93	4110.93	1110.93	4110.93	4110.93	4110.93	1110.93	4110.93	4110.93	4110.93	4110.93
736.11	1625.63	403.78	1373.3	1262.22	1160.13	288.15	980.05	900.78	827.93	760.96
10140.74	11766.37	12170.14	13543.44	14805.66	15965.79	16253.95	17234.0	18134.78	18962.7	19723.66

Indicador	Valor
TASA	8.80%
VNA	S/ 31,497.91
VAN	S/ 19,723.66
TIR	30.30%
PRI	4.2

Nota. Siendo el VAN positivo a lo largo de la vida útil del sistema, el proyecto resulta rentable.

Figura 69
Recuperación de la inversión en el tiempo

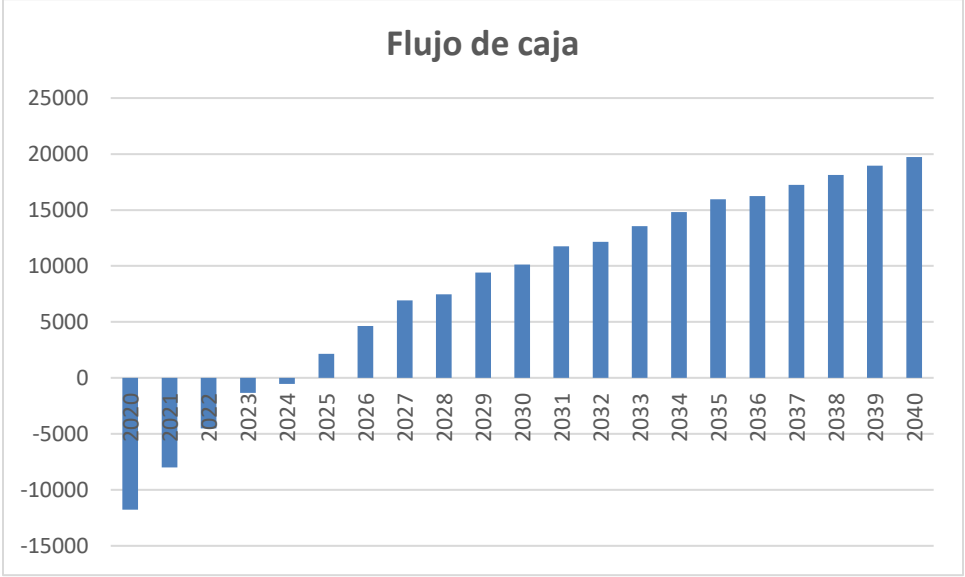


Nota. Curva de recuperación en el tiempo.

6.4.1. GRÁFICA DE BARRAS ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Figura 70

Recuperación de la inversión en barras



Nota. Recuperación en el tiempo en barras.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.

Se diseñó e implementó satisfactoriamente el sistema mediante energía solar, el mismo que consta de un sistema fotovoltaico para la electrificación de la vivienda en general, la misma que también sirve para climatizar el ambiente seleccionado; Así mismo, se logró implementar un sistema de calentamiento de agua mediante la instalación de una terma solar de tubos al vacío para dotar de agua caliente sanitaria a los servicios higiénicos y también para la cocina.

Se implementó un sistema fotovoltaico que cubre la demanda diaria de **5937.43 Wh** de la vivienda, dicho sistema consta de seis paneles de 260 W cada uno conectados en serie paralelo, dos acumuladores o baterías de 12V y 300Ah cada una, conectadas en serie, un inversor de 3000 W, 80 A y 24 V, con sus respectivos accesorios para las conexiones. Con lo cual este generador fotovoltaico tiene una potencia de **1560 W** y una capacidad promedio de generación de energía diaria de **8330.4 Wh**, lo que proporciona un excedente de **2392.97 Wh** de energía respecto a la carga o consumo inicial estimado, cuya aplicación sirve para respaldar a las baterías, para el uso de los artefactos de consumo nocturno. Se comprueba además, que, hay un incremento importante en cuanto a la cantidad de energía disponible respecto a lo que antes se utilizaba de la red pública, lo cual se aprecia haciendo la comparación de valores registrados en el sistema de transmisión de datos con el histórico de consumos, los cuales reflejan valores de para el mes de julio 2021 de **196.7 kwh** frente a un consumo promedio que antes de la implementación del sistema era de **95.49 kwh**, lo que representa un incremento del **106%**. Además, se hace énfasis de una adecuada *racionalización de la energía*, la cual involucra aprender adecuados hábitos de uso de la misma; lo que a la vez permite abordar el uso de la energía disponible en el otros aparatos eléctricos como cocina a inducción, horno eléctrico, scooters, y los otros que se mencionaron en el desarrollo de la tesis.

Se climatizó el ambiente elegido, alimentado también por el generador fotovoltaico, alcanzando una eficiencia del **86.1%** y además, se comprueba que mejora las condiciones de

temperatura y humedad de acuerdo a las mediciones detectadas con el sensor BME280, el cual revela temperaturas superiores a los 18 °C, incluso a primeras horas de la mañana, aproximadamente 7:13am a 7:39am, la cual va en aumento a medida que se intensifica la radiación solar. Y lo mismo con la humedad relativa que revela valores de 58% al 51%, estando dentro del rango admisible.

La cantidad de agua caliente generada en el calentador solar, permite proveer agua a una temperatura elevada generando confort en los usuarios en el uso de los servicios higiénicos y también reduce el consumo de GLP doméstico, lo que permite mejorar la rentabilidad del proyecto. Se comprueba también que el calentador de agua es capaz de elevar la temperatura desde los 22°C hasta los 86 °C. Además, siendo que su capacidad es de **150 litros**, supera la demanda estimada de **118.8 litros**, correspondiente al consumo nominal diario de los seis integrantes de la familia.

Respecto a la rentabilidad económica, se ha demostrado que, con una **tasa de interés anual del 8.8%**, se consigue un **VAN de S/ 19723.66**, con una **TIR de 30.3%** y un periodo de recuperación de la inversión de 4.2 años. Dicho análisis corresponde a la vida útil de 20 años de los paneles fotovoltaicos, lo cual demuestra la rentabilidad de la implementación del sistema.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades competentes, promover programas de financiamiento para la implementación de este tipo de sistemas mediante energía solar, y beneficiar así a familias de bajos recursos que se ven afectados por las altas mensualidades por concepto de consumo de energía eléctrica convencional. Así mismo impulsar la exoneración o disminución de aranceles por concepto de importación de este tipo de equipos de aprovechamiento solar, con la finalidad de masificar la venta y su respectivo uso para futuros proyectos en viviendas.

Es necesario implementar el uso estricto de la racionalización de la energía a fin de evitar pérdidas, compensar las cargas y priorizar los equipos críticos haciendo que se tenga una mejor programación en el funcionamiento de los mismos procurando evitar la simultaneidad en el funcionamiento de los equipos eléctricos, para lo cual también se recomienda, implementar un sistema de domótica para la automatización del funcionamiento de artefactos críticos.

Para efectos de reducir las pérdidas por conducción de calor en la envolvente del ambiente a climatizar, se recomienda mejorar los muros y superficies que presentan mayores pérdidas, en algunos casos haciendo los acabados o enlucidos con yeso y otros materiales menos conductores de calor, incluso se recomienda evaluar la posibilidad de aplicar placas de poliuretano expandido, con lo que se disminuiría las pérdidas de calor por conducción y con ello se logrará tener un mayor margen de energía excedente el mismo que pueda ser empleado en la energización de otros ambientes que no fueron considerados en el presente estudio. También es recomendable implementar algunos materiales que contribuyen a la reducción de pérdidas de calor tales como cortinas, láminas no conductoras, sellos que impiden la salida del calor por las aberturas, entre otras que se mencionan en el anexo 9.

Se recomienda recubrir con materiales aislantes, las tuberías de agua caliente, que van desde la terma o calentador solar, hasta los ambientes de uso final, ello para reducir las pérdidas de calor a lo largo de estas tuberías, y así obtener agua caliente al mismo instante que se abren las llaves o grifos de los destinos finales, evitando así esperar la evacuación del agua fría que está acumulada a lo largo de la tubería mientras no se hace uso del agua caliente.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía y enlaces:

- AFPES. (19 de mayo de 2014). *AFPES*. Recuperado el julio de 2019, de AFPES: <https://www.youtube.com/watch?v=md9b4S2Rhrs>
- Agencia Anda Energía. (15 de enero de 2014). *www.youtube.com*. Recuperado el 24 de abril de 2019, de *www.youtube.com*: <https://www.youtube.com/watch?v=RPKMKPnXbug>
- Arias, D. (2014). *¿Cómo redactar la tesis y el artículo científico según el estilo APA?* Arequipa.
- Cabezas, A. M. (2012). *Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real "Casa Pomaret"*. Barcelona.
- Carta Gonzales, J. A., Calero Perez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Castro, P. F. (Marzo de 2017). <https://repositorio.usm.cl>. Recuperado el 20 de enero de 2020, de <https://repositorio.usm.cl>: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23441/3560900232063UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de riesgos de desastres. (2022). Escenarios de riesgos por bajas temperaturas del departamento del Cusco. *CENEPRED*, 84.
- Clemente De La Cruz, W. (2014). <https://repositorio.uncp.edu.pe>. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe>: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/296/TEMEC_15.pdf?sequence=1
- Construcción Ingeniería. (30 de Mayo de 2018). *www.Youtube.com*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=r5_npcOqDjg
- Diaz Barragán, J. W., & Tinta Gutierrez, F. (octubre de 2017). Diseño y construcción de un módulo experimental de suelo radiante a energía solar. *Diseño y construcción de un módulo experimental de suelo radiante a energía solar*. Cusco, Cusco, Perú.
- El País, E. (30 de Enero de 2019). *El País*. Recuperado el 21/01 de enero de 2020, de El País: https://elpais.com/elpais/2019/01/28/escaparate/1548685711_411767.html
- El Peruano, Diario Oficial . (13 de Mayo de 2014). EM.110 Confort Térmico y Lumínico con eficiencia energética. *Normas Legales*, pág. 523078.

- Electricidad y matemáticas. (8 de abril de 2018). *www.youtube.com*. Recuperado el 12 de octubre de 2019, de *www.youtube.com*: <https://www.youtube.com/watch?v=m-Fw9fjmV80&t=4s>
- Electro Industria. (octubre de 2010). *Electro Industria*. Recuperado el 11 de noviembre de 2019, de Electro Industria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1529>
- Galán, L. C. (3 de marzo de 2018). *www.youtube.com*. Recuperado el 4 de setiembre de 2019, de *www.youtube.com*: <https://www.youtube.com/watch?v=dlRXvtz4-Dc&feature=youtu.be>
- Guevara Calderón, B. A. (Diciembre de 2018). <https://repositorio.unprg.edu.pe>. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3182/BC-TES-TMP-2064.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill Educación.
- Ladino Peralta, R. E. (Marzo de 2011). <https://repositorio.javeriana.edu.co>. Obtenido de <https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1085/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leland, B. (2013). *Ingeniería Económica*.
- Mas, J. M. (2011). Aire acondicionado, Clasificación y características de los sistemas. *Cátedra de acondicionamiento ambiental II*, 29.
- Mazzoni, F., Marsili, V., & Alvisi, S. (2024). Characterizing Hot-Water Consumption at Household and End-Use Levels Based on Smart-Meter Data. *MDPI*, 18.
- Miranda Escobar, M. A. (2016). *Diseño de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la Ley N° 20.571*. Santiago.
- Morante, E., Canahuire, A., & Endara, F. (2015). *¿Como hacer la tesis universitaria?* Cusco: Color graf SRL.
- Muñoz Anticon, D. F. (2005). *Aplicación de Energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Lima.
- NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIONES. (2014). EM080 INSTALACIONES CON ENERGÍA SOLAR. *NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIONES EM080 INSTALACIONES CON ENERGÍA SOLAR*, pág. 8.

- Ojea , L. (julio de 2019). *El Periódico de la Energía*. Recuperado el 2019, de El Periódico de la Energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/paneles-anti-solares-la-celula-fotovoltaica-nocturna-que-genera-electricidad-cuando-no-luce-el-sol/>
- Olivares Bueno, J. A. (2009). *Manual del instalador de sistemas de energía solar térmica de baja temperatura*. Ediciones Paraninfo.
- OSINERGMIN. (2018). Informe de resultados consumo y uso de la electricidad - ERCUE . *OSINERGMIN*, 24.
- Ottavianelli, E., & Cadena, C. (2015). *Calidad de vida y acceso a la energía: dos casos de estudio*. Salta: Avances en energías renovables y medio ambiente.
- Peña Rodriguez, G; Peña Quintero, J. Y.; Gómez Tovar, M. A.;. (2014). Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en bloques extinguidos de arcilla roja. *Revista ciencia en desarrollo*, 15-20.
- Plataforma Solar de Almería Ciemat. (7 de abril de 2014). *www.youtube.com*. Recuperado el 21 de abril de 2019, de *www.youtube.com*: <https://www.youtube.com/watch?v=JcSrlJcZnBM>
- Poclín Mas, E. L. (Marzo de 2019). <https://repositorio.unprg.edu.pe>. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe>:
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4234/BC-TES-TMP-3049.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rengifo, A. (2020). Políticas Públicas y cierre de brechas en las zonas de heladas y friajes. *Rev. Yachay Volumen 9*, 556.
- Rointe. (2015). *Rointe*. Recuperado el 15 de 10 de 2019, de Rointe: <https://rointe.com/calor-especifico-conductividad-termica/>
- Rojas Vitorino, F. F., & Nuñez Chuchullo, H. (18 de Febrero de 2018). Diseño y Construcción de un Módulo de Aire Acondicionado por expansión directa de 12000 btu/h usando energía solar. *Diseño y Construcción de un Módulo de Aire Acondicionado por expansión directa de 12000 btu/h usando energía solar*. Cusco, Cusco, Perú.
- Romero, C. J. (2015). *Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró*. Barcelona.
- RPP Noticias. (4 de Noviembre de 2015). *RPP Noticias*. Recuperado el 21 de julio de 2019, de RPP Noticias: <https://rpp.pe/economia/estilo-de-vida/un-uso-adecuado-reduce-el-gasto-electrico-del-refrigerador-noticia-910965?ref=rpp>

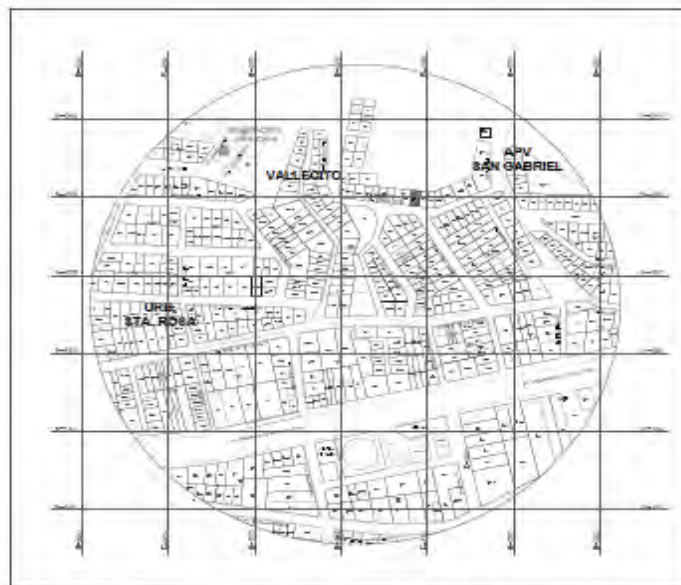
- Rubén. (2018). *Certicalia*. Recuperado el octubre de 2019, de Certicalia: <https://www.certicalia.com/blog/que-son-las-cortinas-termicas-y-como-funcionan>
- Salvador Escoda S.A. (2011). *Manual técnico de energía solar térmica* (4ta ed.). Salvador Escoda SA.
- SENAMHI. (2003). Atlas de energía solar del Perú. *Proyecto: Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú*, 31.
- Teletrece. (6 de noviembre de 2017). *youtube.com*. Recuperado el 1 de mayo de 2019, de *youtube.com*: <https://www.youtube.com/watch?v=VEpBxnds3Sk>
- Umán, S. (2019). <https://repositorio.urp.edu.pe/>. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2860/ARQ_T030_72945971_M%20%20%20UM%c3%81N%20JUAREZ%20STEVE%20JASON.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zanabria Pacheco, P. (2004). Radiación solar en el Cusco. *Radiación solar en el Cusco*.

ANEXOS

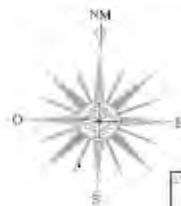
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
General	¿Es posible el diseño y la implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana?	Diseñar e implementar un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua de una vivienda urbana.	La implementación de un sistema mediante energía solar para electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana, permite brindar una alternativa energética y reducir los costos.	Sistema mediante energía solar.	Radiación solar Horas solar pico Demanda de energía Potencia	Experimental, explicativo, aplicativo de enfoque cuantitativo.
Técnico	¿De que manera se implementa la electrificación mediante un sistema de energía solar en una vivienda urbana?	Implementar un sistema fotovoltaico para la electrificación de una vivienda urbana.	Con la Implementación de un sistema fotovoltaico se logrará la electrificación de una vivienda urbana.	Electrificación	Voltaje Amperaje Potencia Energía eléctrica	Experimental, explicativo, aplicativo de enfoque cuantitativo.
	¿Será posible climatizar una vivienda urbana con energía solar?	Climatizar una vivienda urbana mediante la electrificación con energía solar.	Se logrará la climatización de una vivienda urbana mediante la electrificación con energía solar.	Climatización	Temperatura Humedad relativa Entalpia	Experimental, explicativo, aplicativo de enfoque cuantitativo.
	¿De qué manera es posible el calentamiento de agua sanitaria mediante energía solar en una vivienda urbana?	Implementar un sistema de calentamiento de agua sanitaria mediante terma solar	Implementar un sistema de calentamiento de agua sanitaria mediante terma solar	Calentamiento de agua.	Temperatura Calor	Experimental, explicativo, aplicativo de enfoque cuantitativo.
Económico	¿Será rentable económicamente implementar un sistema con energía solar en una vivienda urbana?	Determinar la rentabilidad económica del sistema mediante energía solar para la electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana.	Se logrará la rentabilidad económica del sistema mediante energía solar para la electrificación, climatización y calentamiento de agua en una vivienda urbana.	Rentabilidad económica	Van Tir Periodo de recuperación	Experimental, explicativo, aplicativo de enfoque cuantitativo.

ANEXO 2. PLANO DE UBICACIÓN DE LA VIVIENDA



LOCALIZACION ESC 1/5000



UBICACION ESC 1/1000

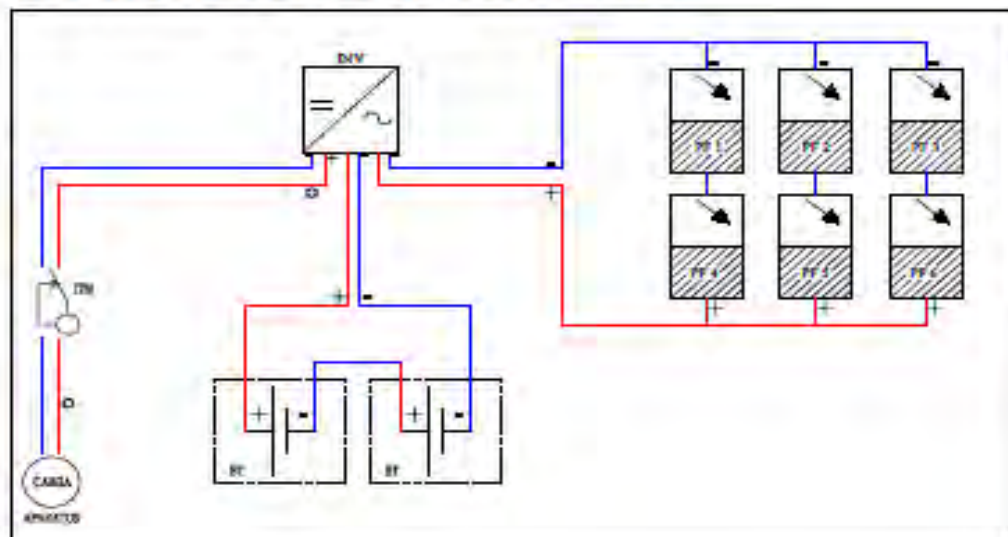


AREA: 19.84
PERIMETRO: 18.82

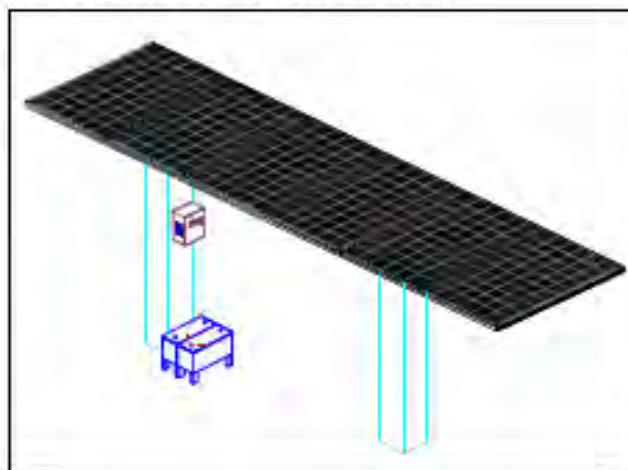
UNIVERSIDAD DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		
TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA MEDIANTE ENERGIA SOLAR PARA ELECTRIFICACION, CLIMATIZACION Y CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA VIVIENDA URBANA.		
NOMBRE: MARIO TONY PRADA ROZAS	DIRECCION: APV SANTA ROSA 9-7	LAMINA: P-01
UBICACION: REGION: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: SAN SEBASTIAN	FECHA: Enero 2022	ESCALA: Indicada

ANEXO 3. ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

ESQUEMA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO



DETALLE DE INSTALACION



LEYENDA

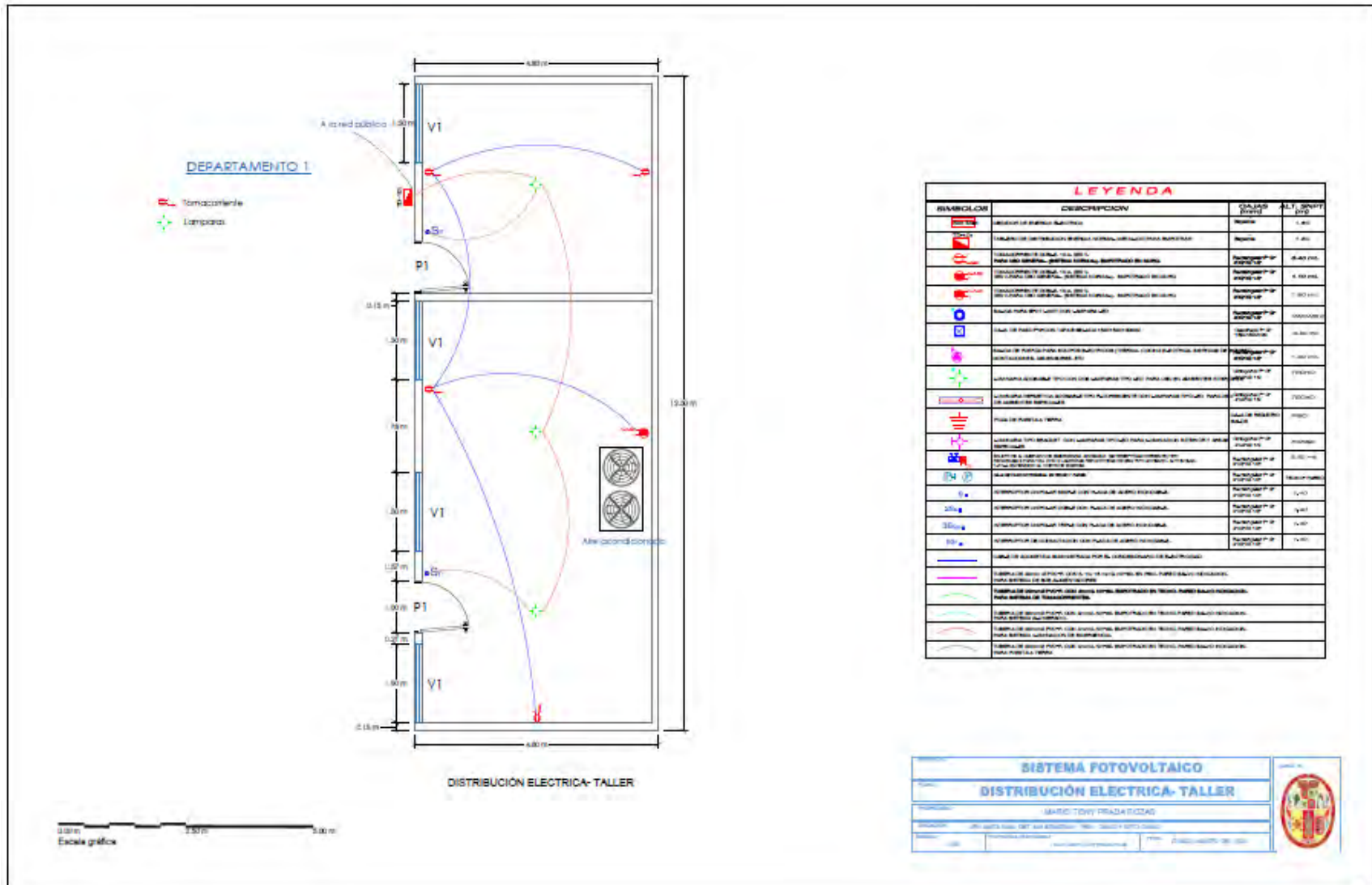
PF	Panel Fotovoltaico 300W, 12V
ITM	Llave Termomagnética 200V
INV	Inversor 3000W/12V/24V
BT	Batería de Gel 200 Ah
GND	Conexión a tierra

Especificaciones Técnicas

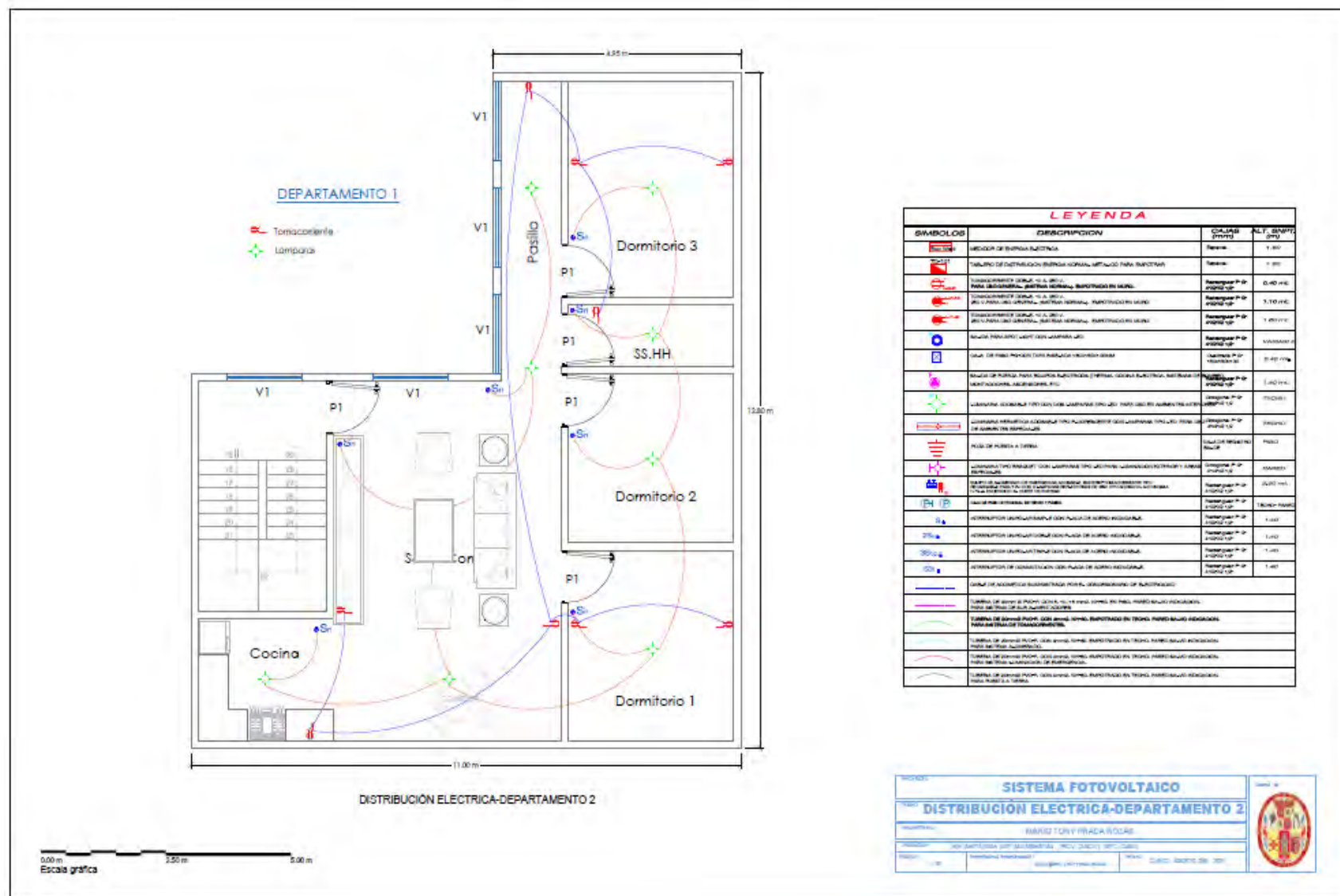
Área Total: 9.6 m²
 Ángulo Inclinación: 20° - 30°
 Potencia Total: 1560 w
 Hora-Sol: 5 h/día
 Energía diaria ≈ 7 kwh

PROYECTO: SISTEMA FOTOVOLTAICO			
FOLIO: ESQUEMAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO			
PROPIETARIO: MARIO TONY PRADA ROZAS			
UBICACIÓN: UPEL SANTA ROSA DIST. SAN RAMÓN PROV. CUSCO Y OTRO CUSCO			
ESCALA: 1:1000	PROFESIONAL RESPONSABLE: RAZ MARIO TONY PRADA ROZAS	FECHA: 04/02/2021	

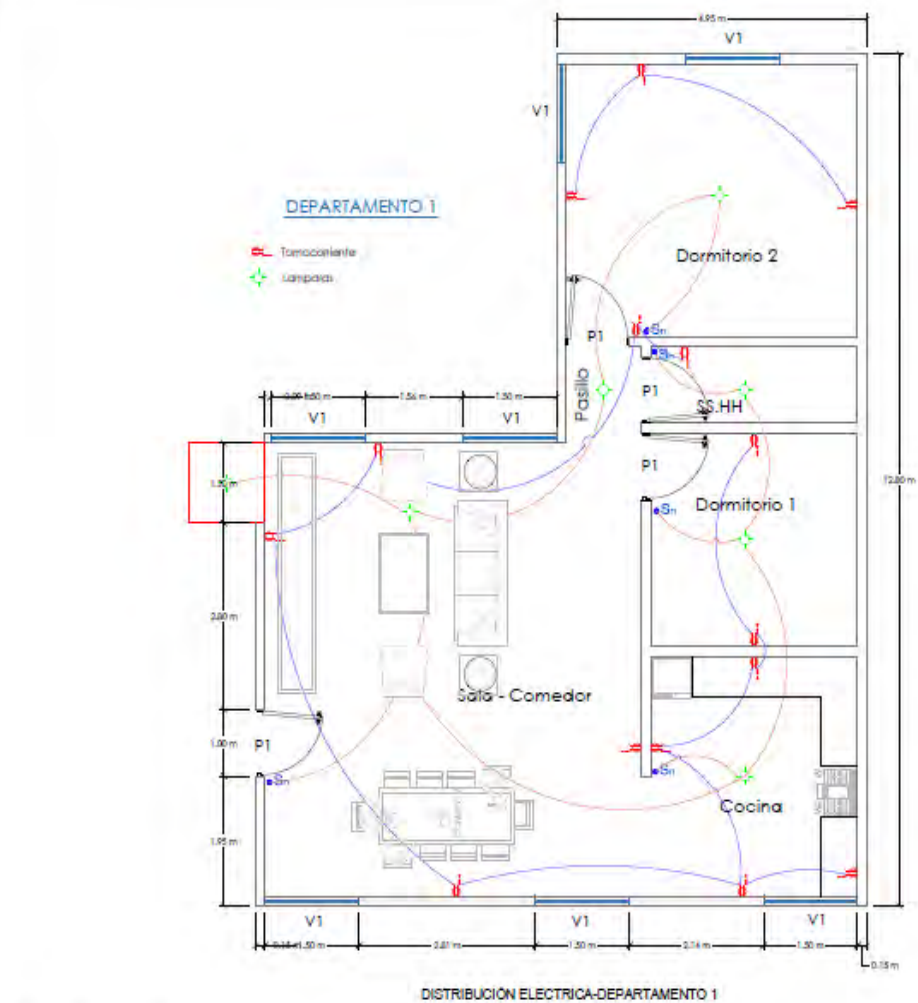
ANEXO 4. ELECTRIFICACION - PLANTA TALLER NIVEL 1



ANEXO 5. ELECTRIFICACION - PLANTA DEPARTAMENTO NIVEL 2

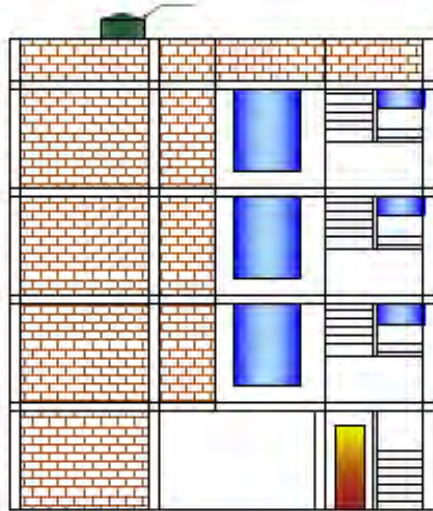


ANEXO 6. ELECTRIFICACION - PLANTA DEPARTAMENTO NIVEL 4

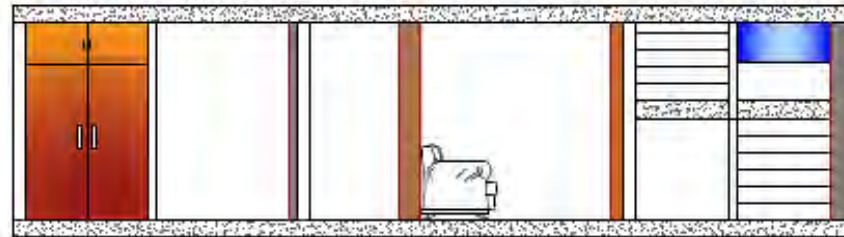
[illegible]

SISTEMA FOTOVOLTAICO		
TÍTULO:	DISTRIBUCIÓN ELECTRICA-DEPARTAMENTO 1	
INGENIERO:	ARMANDO TORRES PRADA RUIZ	
FECHA:	1981	
REVISIÓN:	01	

ANEXO 7. CORTE DEL DEPARTAMENTO EN EL SEGUNDO NIVEL



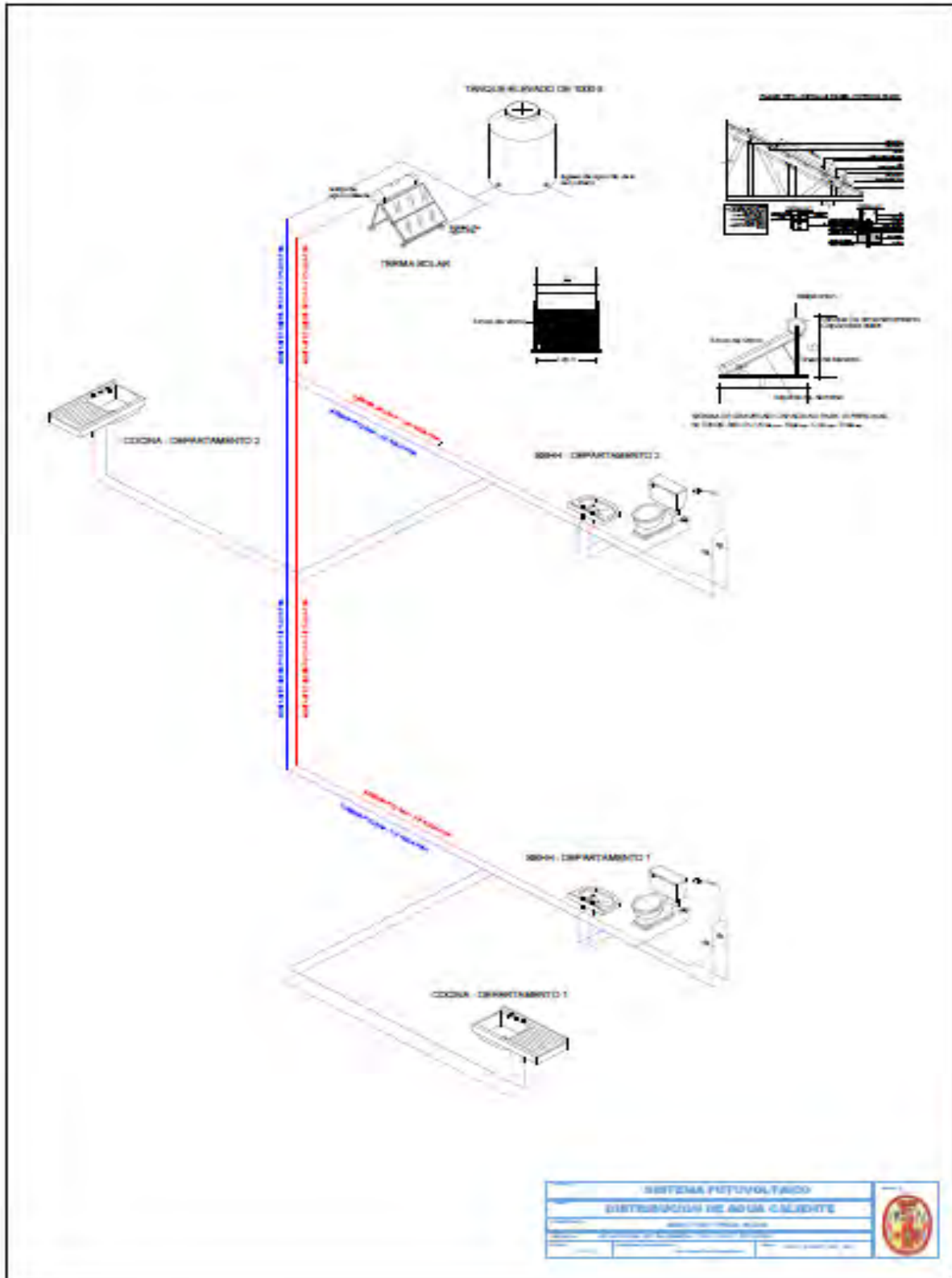
ELEVACION_{ESC 1/100}



SECCION A-A_{ESC 1/50}

UNIVERSIDAD DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		
TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA MEDIANTE ENERGIA SOLAR PARA ELECTRIFICACION, CLIMATIZACION Y CALENTAMIENTO DE AGUA DE UNA VIVIENDA URBANA.		
AUTOR: MARIO TONY PRAHA ROZAS	DISEÑO: APV SANTA ROSA Y-J	LAMINA: P-03
REGION: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: SAN SEBASTIAN	FECHA: Enero 2020 LUGAR: Indicada	

ANEXO 8. ISOMETRÍA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA



ANEXO 9. RECOMENDACIONES DE FABRICANTES PARA DISMINUIR LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN LOS RECINTOS:

Aislamiento mediante cortinas y otros recursos de conservación de calor para recintos:

Con la finalidad de mejorar aún más la resistencia térmica del recinto se aplican diferentes tipos de soluciones tales como cortinas, pegamentos, películas de vinil o cortinas con adherencia magnética, almohadillas para cierres de aberturas, entre otros de gran utilidad a la hora de evitar fugas de calor hacia el exterior. (Rubén, 2018)

Las cortinas, que tradicionalmente conocemos, son unos elementos de tela, que se colocan en el interior de las ventanas; generalmente tienen dos funciones, la de evitar que desde el exterior se vea el interior de la vivienda y además, al estar en el interior de las ventanas, no permiten que los rayos de sol incidan sobre el interior de la vivienda, haciendo de aislante térmico y consiguiendo una pequeña disminución en la temperatura interior en verano. (Rubén, 2018)

Las cortinas para el frío y para el calor son las mismas, son unas **cortinas térmicas**, emplean una tela térmica que hace que sean mucho más aislantes a las pérdidas de calor.

En verano las cortinas y forros térmicos reflejan los rayos del sol hacia el exterior, protegiendo del calor. En invierno, reflejan el calor de la calefacción hacia el interior de la vivienda, reduciendo el consumo energético. Se estima que las soluciones térmicas permitirán ahorrar hasta el 46 % en su factura de calefacción en invierno o rebajar la temperatura hasta 7 °C en verano. (Rubén, 2018)

A pesar de la reciente bajada del 4,6% en el precio del gas en España, este descenso no ha conseguido revertir el incremento del 8,4% que sufrió la tarifa en octubre pasado —la mayor subida de 2018—. Ya entonces, la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) alertaba de que calentar la casa con gas durante este invierno sería un 15% más caro que el año anterior. Por este motivo, cualquier medida que se pueda implementar para reducir el gasto en calefacción en esta temporada de frío puede ser de gran ayuda para superar con mayor facilidad el arranque del año. (El País, 2019)

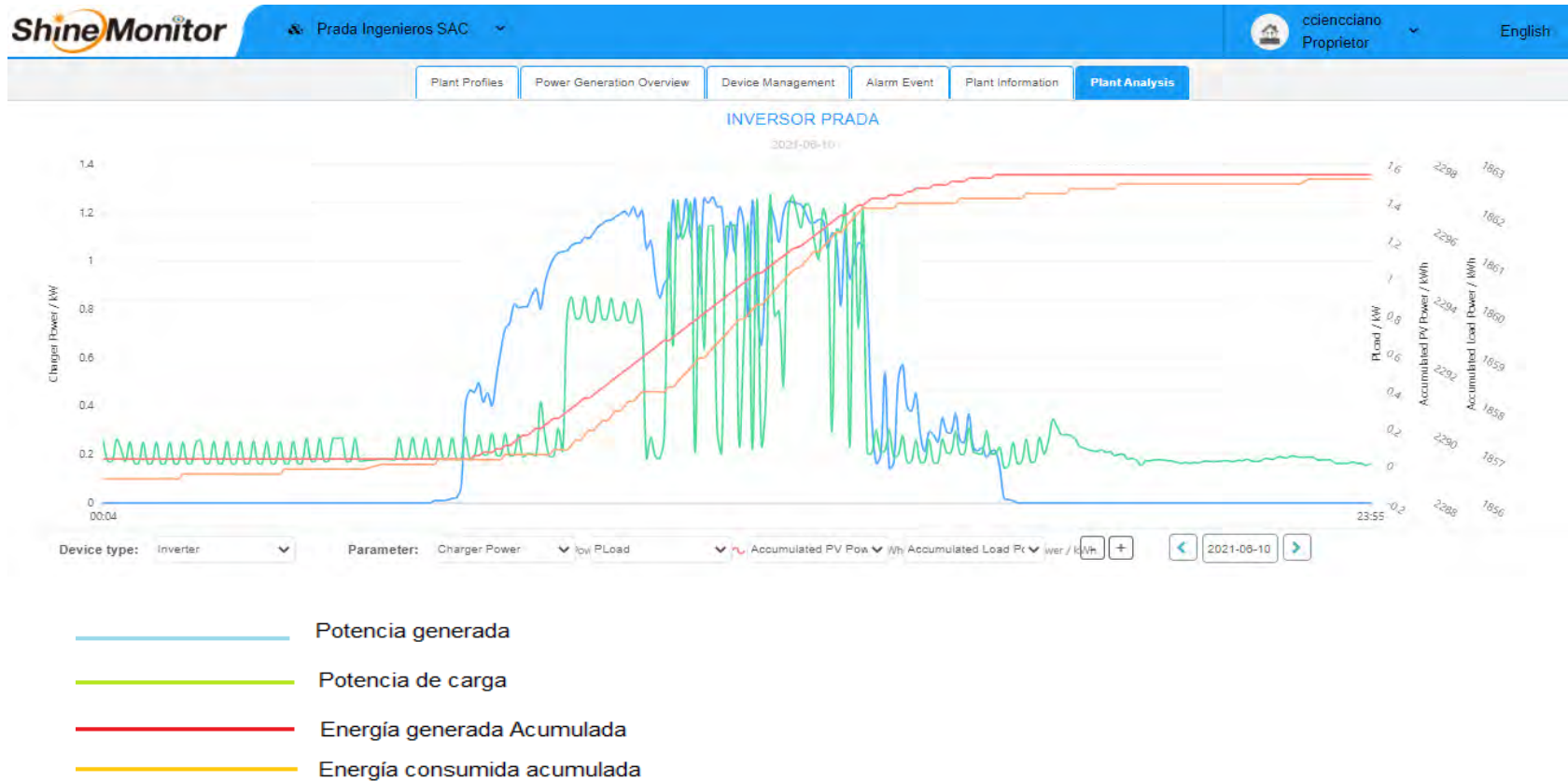
Una alternativa perfecta para las habitaciones que reciben directamente la luz del sol es abrir las cortinas durante el día para dejar entrar el calor. Luego, cuando el sol se ponga, hay que cerrarlas para que no se escapen esos grados de más ganados. Para ello, es recomendable tener una cortina de una tela gruesa, como este modelo de lino, que pueda aislar del frío de las ventanas, y preferiblemente de un color cálido para mejorar la sensación de abrigo. (El País, 2019)

Son fáciles de aplicar y, además de aportar una solución térmica, tienen un efecto decorativo para la estancia en la que los utilicemos. Se pueden pintar al agua para cambiar el color final y no son inflamables. Otra ventaja es que previene la formación de moho en las paredes por condensación de la humedad. Este modelo imita el efecto piedra, tiene un espesor de 2 centímetros y las medidas del panel son 110 x 56 centímetros. Los cinco paneles pueden cubrir una superficie de 2,8 metros cuadrados. (El País, 2019)

ANEXO 10. CURVAS DEL DÍA DE MAYOR CONSUMO EN JUNIO.

Figura 71

Curvas de potencia y energía generadas y consumidas Junio 2021



Nota. El sistema genera curvas de potencias generadas y de consumo (carga) en kW; así como las curvas de energía acumulada generada y de energía consumida en kWh. Extraído de shinemonitor.com

ANEXO 11. SIMULADOR DE CONSUMO ELECTRO (ELECTRO SUR ESTE S.A.A.)

Figura 72

Simulación de consumo de aparatos eléctricos en la plataforma de ELSE S.A.A.

Artefacto	Cantidad	Potencia KW	Horas de uso diaria	Días al mes	Consumo Mensual KW.h	Costo de Energía Mensual S/	
Batidora	1	0.3	0.2	3	0.18	0.12	
Computadora	1	0.4	2	20	16	10.57	
Plancha	1	1	1	1	1	0.66	
Refrigeradora	1	0.35	10	30	105	69.36	
Televisión	1	0.12	2	20	4.8	3.17	
Foco LED 10 W	10	0.01	5	30	15	9.91	
Celular	4	0.01	2	30	2.4	1.59	
Lavadora	1	0.5	2	4	4	2.64	
Horno Microondas	1	1.1	0.5	2	1.1	0.73	
Cocina 2 Hornillas	1	2.3	1	25	57.5	37.98	
Licuada	1	0.3	0.2	15	0.9	0.59	
Play Station	1	0.1	1	10	1	0.66	
Therma	1	1.5	1	20	30	19.82	
Tostadora	1	1.5	1	5	7.5	4.95	
Consumo Mensual Total :					246.38 KW.h		
Costo de Energía Mensual Total:					S/. 162.75		

Nota. Este simulador permite estimar el consumo aproximado de los aparatos eléctricos. Extraído de ELSE SAA

ANEXO 12. HISTÓRICO DE CONSUMOS (ELECTRO SUR ESTE S.A.A.)

Tabla 26

Detalle de conceptos por facturación de consumo de energía eléctrica

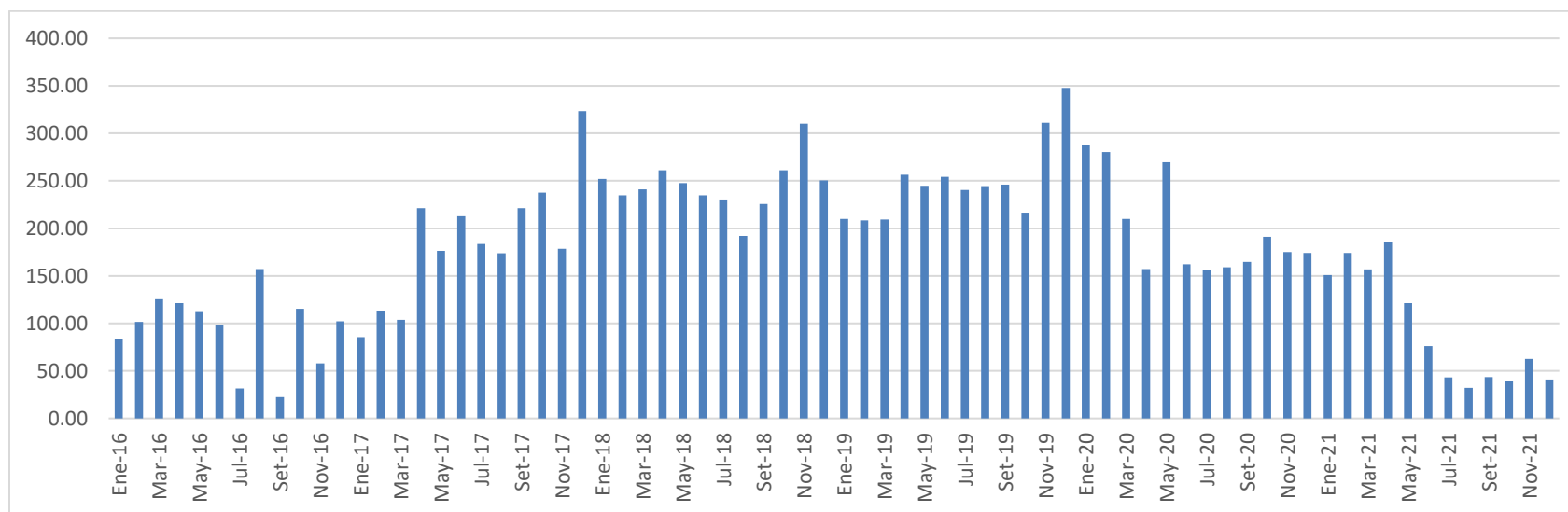
Periodo	Kwh	PU kwh	EA	Energia	Energia FOSE	CF	AP	Mtto	Reposición	Interes	Otros	IGV	Mora	Elec Rural	Total Mes	Deuda	Total
202112	40.88	0.69	28.21	33.85	-5.64	4.05	4.98	1.05	0.24	0.01	0.00	6.94	0.00	0.40	45.40	0.00	45.40
202111	62.68	0.69	43.25	48.89	-5.64	4.06	5.36	1.05	0.24	0.02	0.00	9.72	0.00	0.57	64.30	0.00	64.30
202110	39.10	0.69	26.98	32.38	-5.40	4.02	4.91	1.04	0.24	0.01	0.00	6.70	0.00	0.40	44.30	0.00	44.30
202109	43.38	0.69	29.93	35.21	-5.28	3.95	4.99	1.02	0.24	0.11	0.00	7.24	0.02	0.44	47.90	0.00	47.90
202108	32.03	0.69	22.10	27.20	-5.10	3.87	5.45	1.00	0.23	0.11	0.00	5.90	0.01	0.35	39.00	47.60	86.60
202107	43.09	0.69	29.73	34.74	-5.01	3.78	4.96	0.99	0.22	0.05	0.23	7.19	0.00	0.46	47.60	0.00	47.60
202106	76.04	0.69	52.47	57.42	-4.95	3.74	5.13	0.97	0.22	0.48	0.00	11.34	0.07	0.77	75.20	0.00	75.20
202105	121.39	0.69	83.76	80.31	3.45	3.72	8.51	0.97	0.22	0.34	0.00	17.58	0.01	1.05	116.30	180.00	296.30
202104	185.39	0.69	127.92	122.64	5.28	3.62	17.96	0.95	0.21	0.28	0.00	27.20	0.01	1.62	180.00	0.00	180.00
202103	156.88	0.69	108.25	103.79	4.46	3.61	16.08	0.95	0.21	0.14	0.00	23.29	0.00	1.37	154.00	0.00	154.00
202102	174.10	0.69	120.13	115.29	4.84	3.55	14.20	0.93	0.21	0.07	0.00	25.06	0.00	1.52	165.90	0.00	165.90
202101	150.87	0.69	104.10	99.90	4.20	3.52	7.77	0.93	0.21	0.52	0.00	21.10	0.08	1.32	139.70	0.00	139.70
202012	174.01	0.67	116.59	111.89	4.70	3.52	16.09	0.93	0.21	0.30	0.00	24.80	0.00	1.44	164.00	165.90	329.90
202011	174.93	0.67	117.20	112.81	4.39	3.49	17.26	0.92	0.20	0.13	0.00	25.08	0.00	1.48	165.90	0.00	165.90
202010	191.12	0.67	128.05	123.36	4.69	3.49	16.97	0.92	0.20	0.03	0.00	26.96	0.00	1.63	178.40	0.00	178.40
202009	164.75	0.67	110.38	106.34	4.04	3.49	17.73	0.92	0.20	0.06	0.63	24.04	0.00	1.40	158.90	0.00	158.90
202008	159.19	0.67	106.66	102.76	3.90	3.51	17.50	0.92	0.20	0.00	0.00	23.21	0.00	1.37	153.50	0.00	153.50
202007	156.01	0.67	104.53	100.71	3.82	3.55	18.53	0.92	0.20	0.00	0.00	23.01	0.00	1.36	152.30	0.00	152.30
202006	162.16	0.67	108.65	104.67	3.98	3.56	16.62	0.92	0.20	0.27	0.00	23.46	0.00	1.43	155.20	0.00	155.20
202005	269.61	0.67	180.64	174.02	6.62	3.56	16.09	0.92	0.20	0.09	0.00	36.30	0.00	2.37	142.70	0.00	142.70
202004	157.27	0.67	105.37	101.51	3.86	3.56	15.46	0.92	0.20	0.36	0.00	22.68	0.00	1.38	150.00	0.00	150.00
202003	210.03	0.67	140.72	135.56	5.16	3.56	14.57	0.92	0.20	0.43	0.00	28.90	0.00	1.85	191.30	0.00	191.30
202002	280.22	0.67	187.75	180.88	6.87	3.61	14.40	0.92	0.20	0.00	0.00	37.26	0.00	2.44	246.80	0.00	246.80
202001	287.36	0.67	192.53	185.49	7.04	3.61	14.77	0.92	0.20	0.26	3.07	38.79	0.00	2.50	256.70	0.00	256.70
201912	347.71	0.63	219.06	211.05	8.01	3.58	20.25	0.92	0.20	1.03	0.00	44.13	0.15	2.81	292.30	0.00	292.30
201911	310.94	0.63	195.89	188.71	7.18	3.21	19.71	0.92	0.20	0.49	0.00	39.70	0.02	2.59	262.90	185.30	448.20
201910	216.54	0.63	136.42	131.43	4.99	3.12	13.75	0.92	0.20	0.83	0.00	27.96	0.12	1.85	185.30	0.00	185.30

Nota. Extraído de ELSE S.A.A.

ANEXO 13. ESCENARIOS DE CONSUMOS Y REGISTRO DEL ÚNICO MEDIDOR

Figura 73

Consumo de energía eléctrica de la red y del sistema fotovoltaico enero 2016 – Diciembre 2021



Nota. La gráfica de barras muestra un comportamiento general del consumo durante ese periodo.

Se considera el histórico de consumos en kwh a partir de enero del 2016, donde se muestra mes a mes el consumo generado para nuestra vivienda; sin embargo hay que distinguir tres escenarios distintos que debe tenerse en cuenta para una adecuada interpretación de los datos debido a que el uso de la energía eléctrica pública ha sido compartida entre los propietarios de la vivienda principal y la de la familia de inquilinos que habitan desde Abril del 2017 con un único medidor compartido de modo que los gastos

de facturación mensual fueron compartidos hasta que se hizo la implementación del sistema fotovoltaico donde los propietarios de la vivienda pasaron a independizarse, quedando el medidor eléctrico para uso exclusivo de la familia de inquilinos en adelante.

Escenario 1: Para efectos de análisis y estimación de consumo promedio mensual, se considera un periodo de tiempo que va a partir de enero del 2016 hasta marzo del 2017, el cual es de consumo de los propietarios de la vivienda familiar, con un consumo promedio de **95.49 kwh** mensuales, según se aprecia en la tabla 27, los cuales corresponden al uso básico y restringido de artefactos domésticos convencionales como televisor, radio, licuadora, plancha eléctrica, laptop, bombillas eléctricas, cargadores de celulares, entre otros; con lo cual, y al ser la energía eléctrica la de Electro Sur Este, los usuarios de la vivienda limitaban o restringían el uso de la misma y a su vez tampoco se tenía la intención de adquirir nuevos artefactos eléctricos con la finalidad de evitar sobrecostos al término de cada mes.

Tabla 27

Histórico de consumos en kWh. Enero 2016 – Marzo 2017

Mes	Consumo (kWh)
mar-17	103.72
feb-17	113.60
ene-17	85.63
dic-16	102.22
nov-16	57.92
oct-16	115.50
sep-16	22.52
ago-16	157.32
jul-16	31.53
jun-16	98.18
may-16	111.98
abr-16	121.42
mar-16	125.33
feb-16	101.42
ene-16	84.03
Promedio	95.49

Nota. Datos recabados del escenario 1. Adaptado de ELSE S.A.A.

Escenario 2: Corresponde al Periodo de Abril del 2017 hasta Marzo del 2020, dónde se incorpora una familia en calidad de inquilinos, lo cual hace de que el consumo de energía eléctrica se incremente sustancialmente, puesto que estos se dedicaban al pequeño negocio de abarrotes, lo que significaba que además de tener los aparatos

eléctricos domésticos domiciliarios, también portaban una *conservadora de carnes y verduras* de alto consumo eléctrico, así como una refrigeradora para conservar las bebidas gaseosas. Por lo que el consumo promedio de este periodo es de **239.91 kwh**, lo cual representa un incremento promedio de **144.42 kwh** respecto del valor promedio del escenario 1, el cual correspondería al consumo de la familia inquilina. Este incremento porcentualmente podría calcularse de la siguiente manera:

$$\frac{239.91 - 95.49}{95.49} * 100 = \mathbf{151.24\%}$$

Cabe reiterar que este consumo total de 239.91 kwh proveniente de la red eléctrica pública y era compartido entre los propietarios de la vivienda y la del inquilino, disponiéndose de un solo medidor eléctrico, por lo que se tenía que asumir entre ambos los costos de facturación mensual durante todo este periodo. El cálculo de dicho promedio proviene de la tabla 28 correspondientes a dichos consumos de ese periodo:

Tabla 28

Histórico de consumos compartido en kWh. Abril 2017 – Marzo 2020

Mes	Consumo (kWh)
mar-20	210.03
feb-20	280.22
ene-20	287.36
dic-19	347.71
nov-19	310.94
oct-19	216.54
sep-19	246.14
ago-19	244.49
jul-19	240.43
jun-19	254.35
may-19	244.84
abr-19	256.37
mar-19	209.29
feb-19	208.49
ene-19	209.86
dic-18	250.50
nov-18	310.03
oct-18	261.23
sep-18	225.60
ago-18	192.10

Mes	Consumo (kWh)
jul-18	230.48
jun-18	234.75
may-18	247.68
abr-18	261.18
mar-18	240.88
feb-18	234.78
ene-18	252.15
dic-17	323.20
nov-17	178.47
oct-17	237.67
sep-17	221.38
ago-17	173.72
jul-17	183.65
jun-17	212.62
may-17	176.38
abr-17	221.13
Promedio	239.91

Nota. Datos Adaptado de ELSE S.A.A.

Escenario 3: Corresponde al periodo de Abril del 2020 a Mayo del 2021. En Abril del 2020 se implementa el sistema fotovoltaico de modo que los propietarios de la vivienda abandonan la red eléctrica pública para abastecerse únicamente con la energía eléctrica proveniente del sistema fotovoltaico, por lo que este registro de consumo emitido por Electro Sur Este S.A. en este periodo corresponde única y exclusivamente al consumo de la familia inquilina quienes se encargaron del pago de la facturación mensual respectiva, ya que el medidor quedó a disposición exclusiva de los mismos. Tal como se aprecia en la Tabla 29, el consumo promedio mensual de la familia inquilina para este periodo es de **171.26 kWh**; Además como dato aparte se puede apreciar que el consumo promedio de la familia inquilina incrementó de 144.42kWh a 171.26kWh, ello atribuible al incremento en las ventas de carnes y/o verduras lo cual se traduce en un mayor consumo de energía eléctrica de la nevera y del refrigerador.

Tabla 29*Consumos en kWh con sistema implementado. Abril 2020 – Mayo 2021*

Mes	Consumo (kWh)
may-21	121.39
abr-21	185.39
mar-21	156.88
feb-21	174.10
ene-21	150.87
dic-20	174.01
nov-20	174.93
oct-20	191.12
sep-20	164.75
ago-20	159.19
jul-20	156.01
jun-20	162.16
may-20	269.61
abr-20	157.27
Promedio	171.26

Nota. Datos Adaptado de ELSE S.A.A.

Luego, culminando con la descripción del gráfico generado de la data proporcionada por Electro Sur Este, se puede apreciar bajos consumos en el reporte de Electro Sur Este a partir de junio hasta diciembre del 2021, esto debido a que el inquilino decide dejar de usar la conservadora de carnes y la refrigeradora por alto consumo eléctrico.

ANEXO 14. CAPACIDADES DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE COBRE

A continuación, en la tabla 30 se muestran los valores de capacidad de amperaje para conductores de cobre según su calibre y temperaturas de trabajo.

Tabla 30

Capacidad de conductores eléctricos de cobre

Medida / calibre del cable	60°C (TW)	75°C (RHW, THW, THWN)	90°C (THHN, XHHW-2, THWN-2)
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

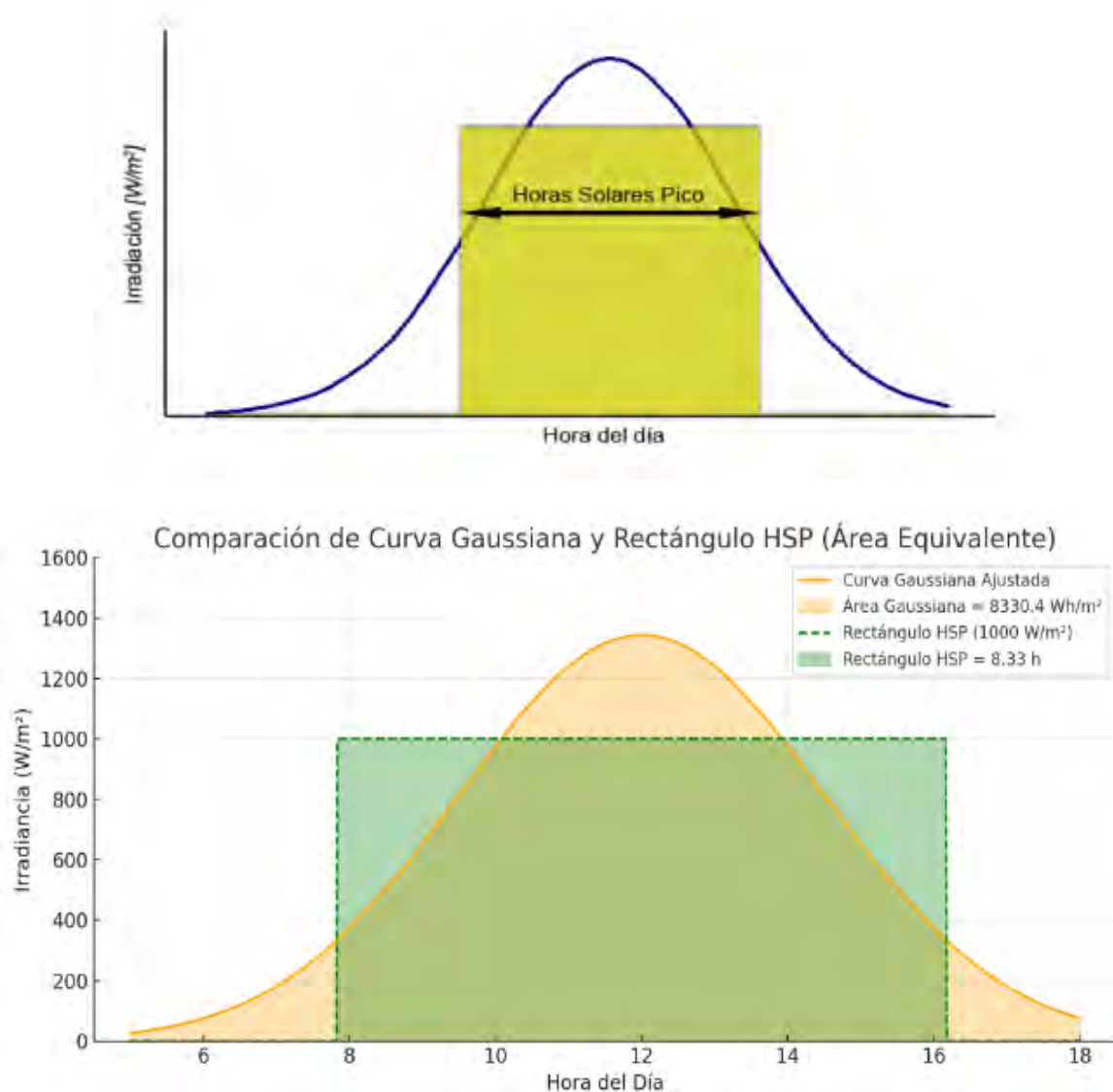
Nota. Adaptado de, NTP 370.301:2002 – Instalaciones eléctricas en edificios.

ANEXO 15. DIFERENCIA ENTRE HORA SOLAR PICO E IRRADIACIÓN

Mientras que la irradiación expresa la cantidad de energía solar durante el día (área bajo la curva), la hora solar pico (HSP) se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 , cuyo producto equivale a la irradiación acumulada durante el día. Dicho de otra manera, la HSP es el cociente de la irradiación y la irradiancia solar constante. Ver figura 74.

Figura 74

Gráficas comparativas de áreas gaussianas y del rectángulo equivalentes



Nota. Para una producción teórica máxima 8330.4 Wh se puede comparar con una irradiancia de 1000 W/m^2 , y una hora solar pico de 8.33 horas durante un día de máxima producción.

ANEXO 16. COMPROBANTES DE COMPRA DE COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Figura 75

Comprobante de compra de equipos y accesorios para la implementación del sistema.



Megacentro Lurín km 29,5 Megacentro, Unidad I-6, Lurín 15047 Lurín - Lima
Tel.: 01 715 1357 / 993 943 927
Email: autosolar@autosolar.pe

SEÑOR(ES) : PRADA INGENIEROS SRL.
DOC.ID : 20601047731
DIRECCIÓN : APV SANTA ROSA Y-7, CUSCO - CUSCO - SANSEBASTIAN
OBSERVACIÓN: :
G. REMISIÓN : -

RUC: 20602492118
FACTURA ELECTRÓNICA
Nro. F001 - 356

F.EMISIÓN : 21-01-2020
MONEDA : SOLES
F.VCTO : 20-02-2020
CONDICION DE PAGO : 30 días

Cantidad	Descripción	P. Unitario	Importe
1	Inversor Cargador 3000W 24V MPPT 80A Must Solar	1,995.00	1,995.00
2	Batería GEL 12V 300Ah Tensite	1,348.51	2,697.02
6	Panel solar Monocristalino 260W PROPSOLAR	395.00	2370.00
10	Cable solar Nro 10 - metros	8.00	80.00
1	Cable eléctrico Nro 12 - rollo	182.00	182.00
4	Cable 2 AWG	25.50	102.00
2	Llave termomagnética 16A CH	29.00	58.00
01	Kit de accesorios conectores	80.00	80.00
01	Terma solar 150L - Solarplus	1186.44	1186.44

SON: DIEZ MIL TRESCIENTOS VEINTE Y CINCO Y 54/100 SOLES

Cuentas Corrientes:
BANCO DE CREDITO DEL PERU
Cta. Cte. Soles: 194-2448005-0-22
Cta. Cte. Interbancaria: 00219400244800502298
INTERBANK
Cta. Cte. Soles: 637-3001500225
Cta. Cte. Soles Interbancaria: 003-637-003001500225-63
Cta. Cte. Dolares: 200-3108749081
Cta. Cte. Dolares Interbancaria: 00320001310874908134

Total Op. Gravada	S/	8750.46
Total Descuento	S/	0.00
Total Op. Inafecta	S/	0.00
Total Op. Exonerada	S/	0.00
Total IGV 18%	S/	1575.08
Importe Total	S/	10325.54

Nota. El principal proveedor de este tipo de equipos es Autosolar Perú con los precios y ofertas más competitivas. Factura emitida por Autosolar Perú.

Figura 76

Comprobante de compra de Router RTU para transmisión de datos del sistema.



AUTOSOLAR ENERGÍA DEL PERÚ S.A.C.
 Carretera Panamericana Sur Km. 29.5 Megacentro, Unidad I-6, Lt.
 Referencia Campomar, entrada al Megacentro altura Puente VIDU
 Telef: 017154357 Móvil : 993943927

R.U.C. N° 20602492118

FACTURA ELECTRONICA

N° F001 - 0001386

SEÑOR(ES): ROZAS DIAZ BRIGIDA

RUC: 10238278177

DIRECCIÓN: JR. PAITITI S/N. QUEBRADA. YANATILE

F.EMISIÓN: 17 de Febrero de 2021 F. VCTO.: 17/02/2021 00:00:00

N° COTIZACIÓN	AGENTE	G. REMISIÓN	O. COMPRA	CONDICIÓN DE PAGO	T. CAMBIO	MONEDA
	02	T0010000482		CONTADO	3.65	S/

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UD.	SUBTOTAL	DCTO.	TOTAL
3001020	Kit Wifi RTU Inversor MUST	1.00	409.33	409.33	0.00	409.33
TEXTO	ATENCION A MARIO TONY PRADA ROZAS DNI 41078287-7 951561998			0.00	0.00	

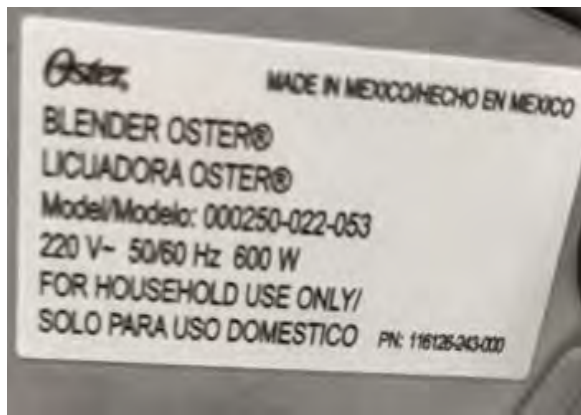
Nota. Accesorio auxiliar externo necesario para la transmisión de los datos por el sistema, hacia la plataforma de monitoreo shinemonitor.com.

ANEXO 17. PLACAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE EQUIPOS ELECTRODOMESTICOS.

Figura 77

Placas de todos los artefactos eléctricos para cálculo de demanda.





AIRE ACONDICIONADO PORTÁTIL		
REFRIGERANTE		R410a / 550gr
PRESIONES	ALTA	4,2 MPa
	BAJA	1,5 MPa
PESO		34 kg
CLASE		IPX0
TENSIÓN		220 V ~
FRECUENCIA		50 Hz
CORRIENTE NOMINAL		8,0 A
POTENCIA NOMINAL	FRIO	2,00 Kw
	CALOR	1,50 Kw
PAIS DE ORIGEN		CHINA

Nota. Con las potencias recabadas se realizó el cálculo de la demanda energética para el posterior dimensionamiento del sistema.

ANEXO 18. CONSUMO DE ENERGÍA NOCTURNO DE ARTEFACTOS EN WATT-HORA

En vista de que, en horario nocturno, el abastecimiento de energía depende únicamente de las baterías, es necesario calcular este consumo de energía durante horas de la noche, donde la radiación solar es nula, ello permite dimensionar la capacidad y cantidad de baterías a efectos de un correcto dimensionamiento del sistema de acumulación. Ver Tabla 31.

Tabla 31

Consumo de energía de los artefactos eléctricos en horario nocturno

ARTEFACTO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS	ENERGÍA (Wh)
Refrigerador	1	150	6.22	933
Televisor	1	110	3	330
Iluminación	13	10	4	520
microondas	1	1050	0.08	84
TOTAL				1867

Nota. Para el caso del microondas se considera cinco minutos de uso en la noche para el calentamiento de comida de algunos comensales, expresado en horas.

ANEXO 19. MEDICIÓN DE PICO DE CORRIENTE DEL REFRIGERADOR.

Siendo la potencia de consumo del refrigerador 150 W, y la corriente alterna de 220 V, se puede calcular la corriente nominal o teórica de este artefacto dividiendo ambos valores respectivamente, mediante la expresión $I = P/V = 150 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0.68 \text{ A}$. que sería la corriente máxima o a plena carga.

Cómo se sabe, *la corriente pico* es la que se da en el arranque del refrigerador, donde alcanza su mayor valor, que debería ser superior al teórico arriba calculado. Para ello se dispuso de una pinza amperimétrica y se hizo la lectura de corriente de arranque cuyo valor es de **1.67 A** y luego las corrientes cuando el motor alcanza régimen normal de funcionamiento con valores de 0.41 A y 0.38 A, con lo que se corrobora de manera práctica, según se muestra en la Figura 78:

Figura 78

Pico de corriente y régimen normal de corriente del refrigerador en funcionamiento.



Nota. Se observa que la corriente pico es aproximadamente cuatro veces la corriente a régimen normal para la refrigeradora en mención.